

Gestion durable de l'eau en Suisse

Le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir

Monograph**Author(s):**

Walther, Pierre

Publication date:

2015

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010265286>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

Originally published in:

Nationales Forschungsprogramm "Nachhaltige Wassernutzung" (NFP 61)

Synthèse globale du Programme national de recherche PNR 61

Gestion durable de l'eau en Suisse

Le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir

Comité de direction PNR 61 (éd.)



Gestion durable de l'eau
Programme national de recherche PNR 61

FNSNF

FONDS NATIONAL SUISSE
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

v/dlf

Mentions légales

Rédaction: Pierre Walther et Catherine von Graffenried, fast4meter, en collaboration avec le Comité de direction du PNR 61

Recommandations relatives aux citations: Comité de direction du PNR 61 (2015): «Gestion durable de l'eau en Suisse»: le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir. Synthèse globale dans le cadre du Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61), Berne.

Elaboré et publié avec le soutien du Fonds national suisse de la recherche scientifique dans le cadre du Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61).



Gestion durable de l'eau
Programme national de recherche PNR 61

Comité de direction: P^r ém. Christian Leibundgut (président), Université de Fribourg-en-Brisgau; P^r Günter Blöschl, Université technique de Vienne; P^r Dietrich Borchardt, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig; Ulrich Bundi (jusqu'à 2013), autrefois Eawag, Dübendorf; P^r Bernd Hansjürgens, Helmholtz Zentrum für Umweltforschung UFZ, Leipzig; P^r Bruno Merz, GeoForschungsZentrum, Potsdam; P^r em. (Université de Vienne) Franz Nobilis, conseiller ministériel auprès du Lebensministerium (Sektion Wasser, Hydrographisches Zentralbüro), Vienne

Conseil consultatif: D^r Christoph Böbner, Service des forêts et du paysage, Canton de Lucerne; Katharina Dobler (jusqu'à 2013), Office des affaires communales et de l'organisation du territoire, Canton de Berne; D^r Anton Kilchmann, Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux (SSIGE); Roger Pfammatter, Association suisse pour l'aménagement des eaux (ASAE); Irène Schmidli (jusqu'à 2011), Office des eaux et des déchets, Berne; Moritz Steiner, Service de l'énergie et des forces hydrauliques, Canton du Valais; Adèle Thorens Goumaz, conseillère nationale du Canton de Vaud, Groupe des Verts; Luca Vetterli, Pro Natura Tessin; Hansjörg Walter, conseiller national du Canton de Thurgovie, UDC; Martin Würsten, Service de l'environnement, Canton de Soleure

Déléguée de la division IV du Conseil national de la recherche: P^r Nina Buchmann, EPF Zurich

Représentant de la Confédération: PD D^r Stephan Müller, Office fédéral de l'environnement OFEV, Berne

Coordinatrice du programme: D^r Barbara Flückiger Schwarzenbach, Fonds national suisse FNS, Berne

Chargée d'échanges de connaissances: D^r Patricia Fry, Wissensmanagement Umwelt, Zurich

Porte-parole: D^r Bruno Schädler, Université de Berne

Vidéo, arrêts sur image et extraits vidéo: Patricia Fry, Wissensmanagement Umwelt; Renata Grünenfelder, Halbbild Halbtou

Mise en page et graphisme: Esther Schreier, electronic publishing, Bâle; Guido Köhler, Atelier Guido Köhler & Co., Binningen

Traduction: Trad8, Delémont

Photos de couverture: images tirées des projets, de gauche: Emmanuel Rey, Sabine Rock, AUE BL, Essence Design, Miredi – Fotolia.com, Reportair.

Photos d'arrière-plan: Beat Ernst, Bâle

Photos et citations: Sauf mention contraire, les photos et les citations utilisées sont extraites des vidéos du PNR 61 «Aperçu» et «Perspectives», voir www.pnr61.ch. Les citations reflètent l'opinion des personnes à l'écran.

Les différentes équipes de recherche répondent de leurs résultats et le Comité de direction, dont l'opinion ne doit pas nécessairement correspondre à celle du Fonds national suisse ou du Conseil consultatif, de la synthèse et des recommandations.

Informations bibliographiques de la Bibliothèque nationale allemande: La Bibliothèque nationale allemande répertorie cette publication dans la bibliographie nationale allemande; les données bibliographiques sont disponibles sur Internet sous <http://dnb.d-nb.de>.

ISBN 978-3-7281-3613-8 (édition imprimée)

Cette publication est également disponible sous forme d'e-book (open access):

ISBN 978-3-7281-3614-5, DOI 10.3218/3614-5

www.vdf.ethz.ch

© 2015, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zurich

This work is licensed under a creative commons license.



Table des matières

4	Avant-propos
6	Le PNR 61 en bref
8	Présentation du PNR 61
8	Qui se préoccupe de ce sujet?
11	La mission des chercheurs
13	Comment le PNR 61 a-t-il été mis en œuvre?
16	Le PNR 61 se tourne vers l'avenir
16	Axes principaux du programme
18	Où fondent les glaciers
26	Fortes précipitations, crues et charriage
33	L'avenir des ressources en eau
41	Sécheresse estivale et étiage
50	Besoins en eau de l'agriculture: dans quels domaines augmentent-ils?
58	Canaux d'irrigation et paysages ruraux alpins
63	Les régions face à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation
72	Eau potable issue des réserves d'eau souterraine
79	Le PNR 61 développe des méthodes visant le renforcement de la durabilité
79	De quoi est-il question?
82	Particularités suisses
84	Expériences en matière de gestion intégrée en Suisse
90	Gouvernance de l'eau par la Confédération et les cantons
94	Une réforme en douceur pour davantage de gestion intégrée des eaux
99	Planification d'infrastructures hydrauliques durables
102	Calcul des services écosystémiques hydrologiques
104	Evaluation intégrée des cours d'eau
106	Le PNR 61 présente la gestion régionale des eaux
106	Approche systématique basée sur les connaissances
108	Connaissances des acteurs sur les objectifs
109	La science élabore des connaissances systémiques
114	Les connaissances de la transformation, un critère décisif
116	Conclusions du PNR 61
116	Pour les spécialistes en hydrologie
117	Pour les acteurs du domaine politique
118	Pour la recherche future
120	Annexe



Avant-propos

Le Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61) a été lancé en 2008 afin de jeter **les bases d'une stratégie d'avenir visant à garantir les ressources hydriques et l'économie des eaux en Suisse.**

Il est apparu dès le départ que le changement climatique et les évolutions sociales, notamment l'urbanisation croissante de la Suisse et les ouvertures de marché à l'international, pèsent considérablement sur les ressources en eau. En outre, des facteurs politiques et économiques, souvent imprévisibles et dont les conséquences sont difficilement évaluables, entravent l'utilisation durable de l'eau.

Ce vaste programme a permis de synthétiser et de consolider le potentiel élevé que recèle la recherche sur l'eau en Suisse. Les facteurs d'influence ne pouvant être qu'en partie maîtrisés, il conviendrait d'affiner les connaissances scientifiques existantes par le biais de la recherche, de les associer au plan stratégique et de les orienter vers un objectif commun afin de jeter les bases d'une stratégie nationale de l'eau. Cette démarche implique un **changement de paradigme** de manière à passer d'une observation partielle des problématiques liées à l'eau à une considération globale des systèmes et des bassins hydrologiques. Les ressources en eau doivent être prises en compte dans un contexte global intégrant à la fois les autres ressources et les champs d'action sociaux, parmi lesquels la production énergétique, la production agricole et forestière sans oublier les interactions générées par la force hydraulique, la correction et la revitalisation des cours d'eau, le développement de l'urbanisation et l'implantation d'activités artisanales et industrielles, le tourisme et le secteur des loisirs.

Ce programme privilégie **une approche trans-disciplinaire**. La recherche a dès le début impliqué les parties prenantes et mis l'accent sur les modalités concrètes de mise en œuvre des résultats obtenus. Des groupes d'utilisateurs expérimentés ont ainsi contribué à l'élaboration d'outils concrets, notamment des guides et des modèles. Cette méthode de travail conceptuelle inhérente au programme, fondée sur une approche d'intégration et d'échange entre recherche et application, est de nature à faciliter une mise en œuvre concrète aux effets durables.

Une gestion durable de l'eau ne peut être conçue et réalisée, sur un plan conceptuel, qu'en tenant compte d'autres domaines de la vie et de l'économie. C'est la raison pour laquelle **l'approche globale et intégrée** est fondamentalement au cœur des travaux relatifs au PNR 61; elle joue un rôle déterminant dans une gestion efficace de l'eau et dans la politique de l'eau y afférente en Suisse (gouvernance de l'eau).

Nul ne pouvait se douter, au premier stade du programme, que les «facteurs d'influence incontrôlables» se manifesteraient aussi rapidement. La politique énergétique européenne a notamment amorcé une transition énergétique accélérée, qui aura des conséquences considérables également sur le secteur de l'eau en Suisse. **La stratégie de l'eau** que nous visons a été temporairement ajournée, aussi manque-t-il un base solide pour effectuer une pesée des intérêts incluant d'autres domaines politiques (la politique énergétique notamment), dans une vision intégrée et solidement ancrée à tous égards.

Cette évolution montre à quelle vitesse les facteurs d'influence et les forces en présence peuvent changer et souligne la nécessité de déployer en temps utile une démarche de prévention.

Le PNR 61 s'est consacré aux aspects centraux de l'économie des eaux en Suisse dans le cadre de **16 projets. Quatre synthèses thématiques** reprenant les points importants avaient pour but de coordonner les résultats du projet à l'intention des experts de la Confédération, des cantons et les acteurs du terrain **et de tirer les conclusions générales**. Des résultats de recherches menées à l'externe ont également été intégrés de manière à obtenir **une vue d'ensemble de l'utilisation durable de l'eau en Suisse à l'avenir**. Ces éléments sont exposés dans **la synthèse globale**.

Les cinq rapports de synthèse de ce Programme national de recherche constituent un aide-mémoire des plus intéressants sur l'utilisation et la gestion de l'eau en Suisse. Ils montrent comment le secteur de l'eau pourrait être organisé à l'avenir en Suisse, les devoirs qui nous incombent et les mesures de prévention à conseiller.

Un grand merci à tous ceux qui se sont impliqués dans ce programme avec enthousiasme tout au long de ces années: aux chercheurs, aux membres du comité de direction et du Conseil consultatif, à la chargée d'échanges de connaissances, à la coordinatrice du programme et aux autres collaborateurs du FNS, aux représentants de l'OFEV et des autres offices fédéraux, aux cantons, aux régions, aux communes et aux associations, ainsi qu'aux auteurs des synthèses.

Le président du comité de direction du PNR 61

Christian Leibundgut



Le PNR 61 en bref

Le Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» a examiné les questions relatives à la gestion durable et à la viabilité des ressources en eau de la Suisse.

Les évolutions économiques et sociales ainsi que le changement climatique provoqué par l'homme constituent les principaux facteurs. Ils sont à l'origine de changements de plus en plus complexes dans le régime des eaux ainsi que dans la gestion des eaux et des écosystèmes aquatiques.

Un ouvrage et un DVD réalisé à votre intention

Le présent ouvrage s'adresse aux personnes, telles que vous, qui s'intéressent au sujet traité. Il s'adresse également aux acteurs de l'économie, de la politique, des organisations écologiques et de l'administration soucieux de l'avenir de la gestion de l'eau en Suisse.

Les 16 projets sont tous présentés brièvement dans le DVD inclus dans cet ouvrage. Les séquences vidéo offrant une «introduction» et celles présentant une «conclusion» ont été réalisées respectivement au début et à la fin du PNR 61.

Le PNR 61 permet de jeter un regard sur l'avenir (à l'horizon 2100). Cet ouvrage s'appuie sur les résultats de 16 projets de recherche. Ceux-ci sont présentés succinctement en annexe.

Les expert(e)s trouveront des informations complémentaires dans chacune des quatre synthèses thématiques du PNR 61. Celles-ci présentent les projets, leurs résultats et les mesures possibles.

Des vidéos ainsi que les conclusions des projets sont disponibles dans le DVD accompagnant l'ouvrage ainsi que sur le site Internet (www.pnr61.ch).

De nouvelles découvertes réalisées grâce à la recherche interdisciplinaire et transdisciplinaire

Quelque 16 équipes de recherche interdisciplinaire ont examiné les ressources en eau et leurs utilisations compte tenu du contexte social, économique et environnemental. Ce faisant, les équipes de projet ont adopté une méthode de travail transdisciplinaire. Les parties prenantes et les personnes concernées ont été intégrées au projet. Des approches et des options stratégiques ont été élaborées conjointement par les parties impliquées. ► [page 14](#)

Le changement climatique, visible surtout en haute montagne

Le changement climatique entraîne une augmentation de la température. Au cours des prochaines décennies, la fonte des glaciers qui résulte de ce phénomène et la hausse de la limite des chutes de neige modifieront considérablement le régime des eaux et de charriage en haute montagne. Dans les Préalpes, sur le Plateau et dans le Jura, les changements socio-économiques, notamment dans l'utilisation des sols et de l'agriculture, sont les facteurs les plus importants. ► [page 18](#)

Une multitude de nouveaux lacs en haute montagne

La fonte des glaciers fait apparaître de nouveaux lacs. Ceux-ci offrent un potentiel intéressant en matière d'économie des eaux et de tourisme. Mais ils comportent aussi des risques. Grâce au PNR 61, la Suisse est le premier pays du monde à disposer d'une base de connaissances et de planification commentée pour la gestion de ces nouvelles ressources en eau. ► [page 21](#)

Nouvelles découvertes concernant les systèmes d'eaux karstiques

Le Programme de recherche a élaboré des modèles et des méthodes pour la description de la dynamique des systèmes d'eaux karstiques. Ceux-ci permettent aux cantons de gérer les eaux karstiques plus efficacement. ► [page 34](#)

Aggravation de la sécheresse estivale et de l'étiage

Sous l'effet du changement climatique, les étés secs caractérisés par des précipitations moins importantes devraient se multiplier à l'avenir. La sécheresse des sols et l'étiage des rivières et des réserves d'eau souterraine évoluent sur plusieurs semaines voire plusieurs mois. La part de la fonte des neiges et des glaciers dans le débit continuera à reculer. Le PNR 61 a quantifié les processus en vigueur et élaboré des méthodes de prévision des étiages. ► [page 41](#)

L'humidité du sol, un facteur déterminant pour le régime des eaux

Le rôle essentiel de l'humidité du sol et de l'évaporation dans le régime des eaux a été documenté de manière exhaustive pour la Suisse. Au vu des résultats, les parties prenantes et les personnes concernées ont réalisé l'importance d'aborder ce thème plus précisément à l'avenir, par exemple dans le cadre des systèmes d'alerte précoce. ► [page 44](#)

L'eau, un élément important du paysage

Les canaux d'irrigation traditionnels des Alpes (les bisses) en sont un parfait exemple. Ils contribuent à enrichir les paysages ruraux. Les chercheurs montrent comment moderniser ces systèmes. ► [page 58](#)

Urbanisation et exploitation: un impact plus important que le changement climatique

Dans les Préalpes, sur le Plateau et dans le Jura, les développements socio-économiques ont davantage d'impact sur le régime des eaux que le changement climatique. On peut nommer, à titre d'exemple, le développement urbain, les prix, les subventions aux produits agricoles ou les réglementations en matière de prélèvement d'eau ou d'apport de polluants. Le PNR 61 a élaboré des méthodes d'évaluation de cette dynamique d'utilisation pour permettre la mise en place d'une gestion durable de l'eau. ► [page 63](#)

Le réchauffement de l'eau lié au changement climatique: une problématique actuelle

La hausse des températures de l'eau est un facteur de stress pour les eaux des zones urbaines déjà fortement grevées par les apports de substances. L'augmentation des températures de l'eau affecte également directement et indirectement l'eau brute destinée à la production d'eau potable ainsi que les installations d'approvisionnement en eau potable. Le PNR 61 a documenté les processus en vigueur et en a examiné les conséquences possibles.

► [page 69](#)

Des expériences multiples menées dans le domaine de la gestion de l'eau

Le PNR 61 a réalisé un inventaire complet de ces expériences aux niveaux de la Confédération, des cantons et des régions. Cet inventaire révèle l'existence d'une multitude de compétences et de processus de décisions, à l'image de la structure fédérale du système étatique suisse. Cette étude met en évidence les facteurs de réussite et les obstacles rencontrés. ► [page 82](#)

La proposition du PNR 61 visant à renforcer la durabilité de la gestion de l'eau

La collaboration – régionale, intersectorielle ou à l'échelle politique – revêtera un rôle plus important à l'avenir. La Confédération a donc besoin d'une stratégie nationale de gestion de l'eau, tandis que les cantons ont besoin de lois ou de stratégies. Introduire une «gestion intégrée des eaux» par bassin versant de manière uniforme sur l'ensemble du territoire suisse fait peu de sens. Il est plus judicieux de délimiter les régions de gestion intégrée en fonction de leurs problématiques. ► [page 94](#)

Projet pilote en faveur de la gestion intégrée des eaux

Le PNR 61 démontre comment la collaboration entre les chercheurs et les acteurs de terrain peut créer une valeur ajoutée pour la région de Crans-Montana-Sierre (VS). Les acteurs de terrain ont acquis des connaissances sur les objectifs et les chercheurs des connaissances sur le système. Dorénavant, il est important d'intégrer ce savoir à la gestion de l'eau (connaissances de transfert).

► [page 106](#)

Présentation du PNR 61

A quelles difficultés la Suisse sera-t-elle confrontée dans le cadre de la gestion durable de l'eau dans les prochaines décennies? L'eau sera-t-elle encore disponible partout et présentera-t-elle la meilleure qualité qui soit en 2100? Quelque 16 projets de recherche ont été menés à ce sujet selon une approche interdisciplinaire et transdisciplinaire.

Le régime des eaux et les ressources hydriques de la Suisse connaissent une pression croissante. Celle-ci s'aggravera encore dans les prochaines décennies. A l'origine de ce phénomène: les développements économiques, technologiques et sociaux, ainsi que les répercussions du changement climatique.

D'après le concept d'aménagement du territoire du Conseil fédéral (2012), les agglomérations poursuivront leur densification.

L'économie des eaux en Suisse investit chaque année plus de 7 milliards de francs dans l'entretien des installations existantes et la construction de nouvelles installations, la priorité étant donnée à la force hydraulique, la gestion des eaux urbaines et à la protection contre les crues. Les investissements consentis ont une grande valeur.

Qui se préoccupe de ce sujet?

Accélération du changement

L'augmentation de la pression est un processus insidieux. Depuis plusieurs décennies, la Suisse perd un mètre carré de surface agricole par seconde. Les agglomérations poursuivront leur progression et leur densification, d'où une pression accrue sur les eaux souterraines, les eaux de surface et les écosystèmes aquatiques.

Les conséquences du changement climatique sur le régime des eaux font l'objet de débats scientifiques depuis 25 ans déjà. Dans de nombreuses régions, la gestion et la protection des eaux devront s'adapter à de nouvelles conditions au cours des prochaines décennies. De même, les modèles appliqués jusqu'à présent devront être adaptés à de nouvelles conditions.

L'eau relève essentiellement de la compétence des cantons. Aujourd'hui encore, les décisions politiques et les choix de planification concernant l'eau partent du principe que la Suisse dispose toujours d'une eau d'excellente qualité sur l'ensemble de son territoire. Aujourd'hui déjà, ceci n'est plus garanti.

Norme élevée oblige

En ce qui concerne la protection des eaux, la qualité de l'eau, l'économie des eaux et des eaux urbaines et la protection contre les crues, la Suisse fait figure de chef de file. Des investissements publics considérables, y compris de la part des acteurs de l'économie des eaux, ont été et sont encore nécessaires pour parvenir à cette

norme. La recherche et la volonté politique d'agir et d'investir sont des facteurs décisifs pour maintenir ce standard élevé. Les acquis doivent être maintenus, améliorés et ajustés pour les générations à venir.

Prenons l'exemple de la protection des eaux. Les avancées sont remarquables. Depuis 1960, la qualité de l'eau s'est améliorée dans les lacs et les rivières et ce, malgré l'industrialisation, l'évolution démographique, le développement urbain et l'intensification de l'agriculture. Aujourd'hui, les eaux invitent de nouveau à la baignade, grâce au traitement des eaux usées sur l'ensemble du territoire (1971), à l'interdiction de l'utilisation de phosphate dans les lessives (1985) et aux réglementations sur la protection de l'environnement appliquées à l'agriculture (1990).

Autre exemple: l'économie des eaux urbaines. Environ 2500 services publics assurent l'approvisionnement de la population en eau potable de la meilleure qualité, à tout moment et sur l'ensemble du territoire. Les eaux usées sont conduites hors des zones urbanisées, puis traitées dans l'une des 700 stations communales d'épuration des eaux usées (STEP). La valeur de remplacement des infrastructures des eaux urbaines s'élève à 220 milliards de francs.

La protection contre les crues n'est pas en reste. Il y a 150 ans, son champ d'action était pourtant encore relativement limité. Sous l'influence d'acteurs visionnaires, la Suisse a promulgué la première loi fédérale sur la police des eaux en 1877. Aujourd'hui, le pays est doté d'infrastructures en bon état, bien que vieillissantes, et d'une politique faisant largement consensus en matière de protection contre les dangers naturels.

Le changement climatique, facteur déterminant du régime des eaux

Les prévisions suisses relatives au changement climatique s'appuient sur les scénarios climatiques élaborés par l'Institut des sciences de l'atmosphère et du climat de l'École polytechnique fédérale de Zurich (IAC-ETHZ) et par Météo-



Suisse, en partie dans le cadre de programmes de recherche européens.

D'ici à 2085, les experts prévoient une augmentation de la température de 3° C, avec des fluctuations possibles de plus ou moins un degré. Ce phénomène aura des conséquences directes sur le régime des eaux. D'ici à 2100, il ne restera que 20-30% du volume de glaciers actuel en Suisse, dont la majorité se trouve en Valais. A chaque degré supplémentaire dû au réchauffement climatique, la limite des chutes de neige s'élève de 150 m, ce qui contribue à réduire le volume de précipitations stockées sous forme de neige. Dès lors, l'eau s'écoule plus directement. Il est d'ores et déjà possible de mesurer les changements intervenus dans ce contexte. Quelque 40% de l'eau qui s'écoule en Suisse provient de la neige fondue. Avec le réchauffement climatique, cette part chutera à 25% (2085).

Les incertitudes sont plus grandes en ce qui concerne les prévisions relatives à l'évolution des précipitations. Le volume de précipitations annuel évoluera probablement peu sous l'effet du changement climatique. En revanche, la répartition des précipitations selon les saisons devrait considérablement évoluer. Il faut vraisemblablement s'attendre à une nette diminution des précipitations estivales (20% environ d'ici à 2085) et à une hausse des précipitations pendant le semestre d'hiver.

Tous ces aspects peuvent contribuer à modifier les débits saisonniers des rivières et des ruis-

seaux. La contribution des glaciers au régime des débits disparaîtra presque entièrement. On s'attend à une augmentation des crues en hiver et à des étés caractérisés par la sécheresse et les étiages. Par ailleurs, les débits plus élevés observés aux mois de juin et de juillet suite à la fonte des neiges disparaîtront à long terme. Quant à la hausse des températures de l'eau dans les lacs, les rivières et les ruisseaux, elle est incontestée.

Planificateurs et ingénieurs: quels axes privilégier?

Les modifications consécutives aux développements socio-économiques ainsi qu'au changement climatique doivent être prises en considération dans les méthodes, modèles et approches associés aux planifications. Il convient d'analyser les séries chronologiques réalisées par le passé dans ce contexte. Les estimations futures sont accompagnées d'incertitudes. Il faut des modèles adaptés aux modifications prévues, ce qui permettra de maintenir la confiance qui s'est installée au fil des décennies entre les acteurs politiques et les ingénieurs.

On peut noter, à cet égard, l'exemple de la protection contre les crues. La planification des ouvrages de protection s'appuie souvent sur les crues centennales (HQ 100). Si celles-ci devaient être plus fréquentes à l'avenir, il faudrait adapter les valeurs statistiques du passé et, le cas échéant, les projets. Parallèlement, on voit apparaître, en haute montagne, de nouveaux phénomènes dans les paysages et le régime des eaux.

A gauche: la transition énergétique exacerbe la pression sur les ressources en eau (barrage de Gries). FUGE

Au milieu: les infrastructures hydrauliques constituent un capital. La valeur de remplacement des canalisations publiques, par exemple, s'élève à 66,4 milliards de francs. SWIP

A droite: Aujourd'hui, voir de la mousse sur les cours d'eau n'est plus d'actualité: la Suisse a atteint un niveau élevé en matière de protection des eaux. Photo Eawag

La Commission suisse d'hydrologie est une plateforme de l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT). En 2013, elle a publié des informations sur le régime des eaux en Suisse et les répercussions du changement climatique.

Citons, par exemple, de nouveaux paysages lacustres, des glissements de terrain (fonte du permafrost) et une modification du régime des débits des torrents. Il convient d'en tenir compte dans le cadre des planifications.

Des orientations pour l'avenir

Dans ce contexte empreint d'incertitudes, les décisions à prendre ou les programmes à mettre en œuvre marqueront l'avenir et la durabilité de la gestion de l'eau en Suisse pour des décennies. Il s'agit d'investissements coûteux dans des infrastructures d'une durée de vie de 30 à 100 ans ou dans des projets liés à la protection des eaux. L'un des exemples concerne les projets mis en place dans le cadre de la révision de la loi sur la protection des eaux (2011). Sur les 15 000 km de cours d'eau aménagés en Suisse, pas moins de 4000 km doivent être renaturés. Les problèmes liés au charriage et à la migration des poissons doivent être réglés. Les surfaces agricoles situées dans l'espace des cours d'eau se transformeront en surfaces de compensation écologiques. Ce programme, qui s'étendra sur plusieurs décennies, coûtera des milliards de francs. La prochaine révision de la loi fédérale sur la protection des eaux doit en outre établir, à compter de 2015, les bases nécessaires à l'élimination des micropolluants dans les 100 stations d'épuration des eaux usées les plus importantes de Suisse. Ainsi, les produits chimiques nocifs seront éliminés du cycle de l'eau.

Ces décisions définissent les orientations à suivre pour l'avenir. Elles influent sur la durabilité de la gestion de l'eau en Suisse. Le cap est fixé pour un horizon de 25 à 100 ans en ce qui concerne la politique, l'économie et la société. Les générations à venir profiteront des améliorations, mais devront également faire face à des coûts élevés et régler les erreurs du passé avec une marge de manœuvre réduite.

L'importance croissante des interactions

Les décisions prises dans le cadre de l'économie des eaux influencent également d'autres domaines politiques, économiques et sociaux.

Et inversement. Ces domaines comprennent, par exemple, l'agriculture, l'énergie, le tourisme ou le développement urbain. Il se crée des arbitrages – «trade-offs» – qui dépassent les questions relatives aux sciences naturelles ou à l'économie des eaux.

Dans le domaine de l'eau, ces interactions n'ont pas encore fait l'objet d'études approfondies en Suisse. Jusqu'à présent, les programmes de recherche ont essentiellement traité du cycle de l'eau et du régime des eaux. Les chercheurs ont rarement établi de rapport avec des autres domaines politiques. L'eau renferme également une valeur immatérielle élevée. Toute disparition de l'eau du paysage se répercuterait sur l'homme, la nature et le paysage.

Un exemple: la transition énergétique

La transition énergétique décidée en 2012 par le Conseil fédéral est, par exemple, un domaine dans lequel les «trade-offs» sont importants. La décision a été prise dans un autre domaine politique (celui de l'énergie). Elle peut se répercuter directement sur d'autres modes d'utilisation de l'eau et d'autres domaines politiques.

Avec la transition énergétique, le rôle de l'énergie hydraulique sera amené à évoluer. L'énergie hydraulique représente aujourd'hui environ 54% de l'énergie produite en Suisse. Les centrales au fil de l'eau participent pour un quart à la production d'électricité et les centrales électriques à accumulation pour un tiers. A l'avenir, les bassins d'accumulation pourraient jouer un rôle plus important dans le stockage des énergies renouvelables (accumulation par pompage de courte durée). De grands projets sont encore repoussés. Les conditions actuelles du marché européen de l'électricité ne sont pas attrayantes. Le secteur de l'électricité souhaite que les acteurs politiques définissent des conditions-cadres plus claires quant à la planification de la transition énergétique et aux possibilités d'exploiter la force hydraulique.

Les enjeux de la transition énergétique ne concernent pas uniquement les projets de grande ampleur. La rétribution à prix coûtant du courant

Les données relatives à l'économie énergétique sont issues des statistiques de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN).

injecté (RPC), instrument de la Confédération servant à encourager la production d'électricité à partir d'énergies renouvelables depuis 2008, a déclenché un véritable boom dans les petites centrales hydroélectriques. Jusqu'à mi-2013, plus de 1200 demandes ont été reçues. Dans la plupart des cas, il s'agit de nouvelles exploitations des cours d'eau.

Cette évolution présente des opportunités et des risques pour la durabilité de la gestion des eaux. Parmi les 1488 concessions octroyées pour les prélèvements d'eau, 95% sont destinés à l'exploitation de l'énergie hydraulique. La plupart d'entre elles ont été accordées avant l'entrée en vigueur de la loi sur la protection des eaux (1992), mais sont soumises à l'obligation d'assainissement. Un grand nombre de ces centrales devront être rénovées entre 2030 et 2050.

Richesse en eau oblige

L'Europe attend des régions alpines qu'elles prennent soin de l'eau. Ce qui se passe en Suisse peut avoir des conséquences au-delà de ses frontières. La Suisse s'est engagée, dans le cadre d'un accord international, à assurer une gestion transnationale des eaux.

La mission des chercheurs

Eu égard à ces développements, l'objectif du PNR 61 consiste à élaborer des bases et des méthodes scientifiques solides en vue d'une gestion durable des ressources en eau en Suisse.

Objectif

Les répercussions des changements climatiques, environnementaux et sociaux ainsi que les risques et conflits d'utilisation qui y sont associés doivent faire l'objet de recherches. Pour assurer une gestion des eaux durable et intégrée, la Suisse a besoin de stratégies intelligentes et orientées vers l'avenir, intégrées dans des structures optimales de gouvernance de l'eau (p. ex. des réglementations).

Durabilité

A cet égard, la durabilité constitue une mission politique. La Constitution fédérale (art. 73) oblige la Confédération et les cantons à agir en faveur du développement durable. Elle exige qu'ils œuvrent «à l'établissement d'un équilibre durable entre la nature, en particulier sa capacité de renouvellement, et son utilisation par l'être humain». La politique de durabilité se fonde en particulier sur les idées directrices suivantes:

- ▶ se responsabiliser face à l'avenir (p. ex.: principe de précaution, du pollueur-payeur et de la responsabilité civile);
- ▶ prendre en compte de manière équilibrée les trois dimensions inscrites dans les objectifs: responsabilité environnementale, capacité économique et solidarité sociale;
- ▶ améliorer la coordination entre les domaines politiques et accroître la cohérence;
- ▶ mettre le développement durable en œuvre par le biais du partenariat.

Durabilité et gestion des eaux

La gestion durable des ressources hydriques est avant tout un principe d'action. Son objectif consiste à préserver les qualités intrinsèques, ainsi que la stabilité et la capacité de régénération naturelle des systèmes. A cet effet, il est nécessaire de veiller à une utilisation rationnelle des ressources en eau. La Constitution fédérale comporte des dispositions précises à cet égard: «Dans les limites de ses compétences, la Confédération pourvoit à l'utilisation rationnelle des ressources en eau, à leur protection et à la lutte contre l'action dommageable de l'eau.» (Constitution fédérale, art. 76, alinéa 1). De nombreuses lois fédérales s'appuient sur cet article. Il y a lieu de coordonner les différentes prétentions, socialement légitimes, sur l'eau et les cours d'eau. La capacité du système hydrologique à retrouver un certain équilibre malgré un dysfonctionnement constitue un élément déterminant.

Ensuite, il est nécessaire d'examiner la question de l'exploitation et de la gestion des eaux sous l'angle du développement durable. Il convient également d'accorder une attention égale aux

«Lorsque l'on parle des prochaines décennies, les politiciens et la population se disent souvent que c'est encore dans longtemps. Mais ce n'est pas le cas. Il s'agit du futur de nos enfants. Si l'on pense au temps nécessaire à la planification de mesures de protection ou d'ouvrages de protection complexes, on réalise que nous sommes en pleine course contre le temps.»

*Wilfried Haeberli, NELAK,
Université de Zurich.*

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Stratégie d'adaptation aux changements climatiques: le Conseil fédéral a publié le plan d'action en avril 2014. Le PNR 61 apporte une contribution précieuse à plusieurs champs d'action.

facteurs environnementaux, économiques et sociaux dans les décisions relatives à la gestion de l'eau. Par ailleurs, il est important de garantir l'équité entre les générations ainsi que dans la répartition des ressources.

Vision globale

Le PNR 61 aide les acteurs des domaines scientifique, politique et administratif à examiner de manière globale les multiples thèmes et tâches en lien avec l'eau et les utilisations qui en sont faites afin d'aboutir à des solutions. L'eau est une thématique transversale. Les décisions prises dans les autres domaines politiques, en particulier dans le cadre des politiques agricole, énergétique et urbaine, exercent une grande influence sur l'eau. Par conséquent, la solution aux problèmes liés à la gestion de l'eau réside souvent dans d'autres domaines politiques. A l'inverse, les décisions prises dans le secteur de l'eau influent aussi considérablement sur ces autres domaines.

Contribution à la stratégie d'adaptation aux changements climatiques

Dans sa stratégie, le Conseil fédéral définit le cadre permettant à l'Administration fédérale d'agir de manière coordonnée dans le contexte de l'adaptation aux changements climatiques. Dans la première partie du document, il fixe les objectifs, les défis et les champs d'action. Dans la deuxième partie, il indique, au moyen d'un plan d'action, comment la Confédération entend atteindre ces objectifs et surmonter les défis qui y sont associés.

Le PNR 61 contribue à offrir une vision claire des défis que l'avenir réserve. Dans cette optique, les chercheurs ont développé des outils, des méthodes et des stratégies, lesquels portent sur les mécanismes à l'œuvre dans les systèmes naturels, les méthodes de traitement des risques et des conflits d'utilisation ainsi que les systèmes de gestion efficaces visant la gestion durable de l'eau. Les liens entre les changements climatiques et les dangers naturels ont déjà été abordés de manière plus approfondie dans un PNR (31) précédent.

Tab. 1: programmes de recherche sur le thème du climat et de l'eau.

Nom	Titre/Thème	Rapport final
PNR 2	Problèmes fondamentaux du cycle de l'eau en Suisse Problèmes de stratification et de courants dans les lacs; ressources en eau souterraine; débits des cours d'eau en l'absence de mesures directes; chaleur des nappes souterraines	1989
PNR 31	Changements climatiques et catastrophes naturelles	1998
CCHydro	Changement climatique et hydrologie en Suisse Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau	2012
CCWasserkraft	Changement climatique et utilisation de la force hydraulique	2012
ACQWA	Impacts des changements climatiques sur les eaux et les ressources en eau Programme de recherche de l'UE, canton du Valais	2013

Comment le PNR a-t-il été mis en œuvre?

Les équipes de recherche adoptent une approche interdisciplinaire et transdisciplinaire. Les problèmes relatifs à la gestion de l'eau ont été examinés à l'aune des liens existant avec d'autres domaines politiques, tels que l'agriculture, le tourisme et l'énergie. Le programme s'est également penché sur l'échange de connaissances et la synthèse des résultats.

Choix des projets de recherche

En 2008, le Fonds national suisse (FNS) a mis sur pied un comité de direction pour le PNR 61, lequel a élaboré un plan d'exécution. Les chercheurs de la Suisse entière ont été invités à soumettre des projets concernant deux axes prioritaires. Le premier était consacré aux modifications du régime et de la qualité des eaux. Quels sont les processus à l'origine du changement climatique, de la modification de l'utilisation des sols et des évolutions de la société? A quelles situations extrêmes doit-on s'attendre à l'avenir? Le deuxième axe prioritaire concernait les facteurs socio-économiques ainsi que les stratégies favorisant la gestion durable de l'eau. Tous les domaines relevant

de l'utilisation et de la protection des eaux ont été étudiés.

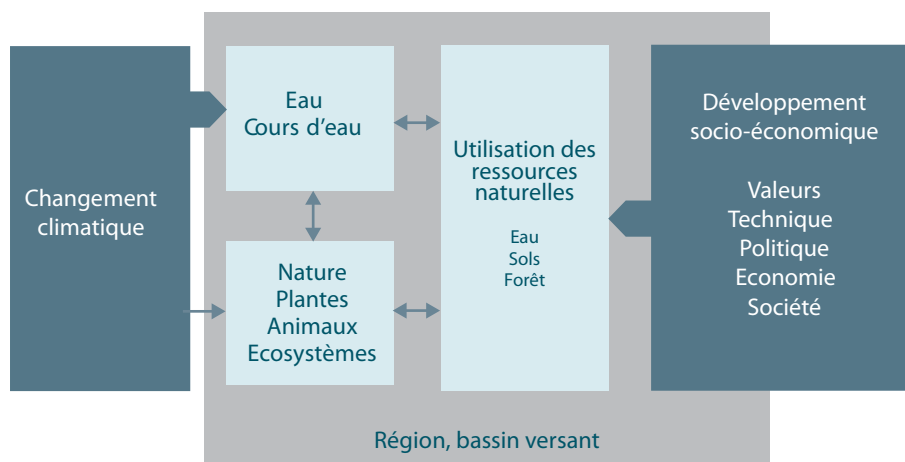
Le comité de direction a évalué les requêtes de recherche et sélectionné 16 projets. Ceux-ci ont été proposés pour financement au FNS en 2009. Les équipes de recherche étaient chargées d'étudier de manière approfondie les thèmes de l'hydrologie et de l'économie des eaux et, sur cette base, d'élaborer des approches innovantes pour une gestion intégrée et évolutive de l'eau.

Approche systémique

Tous les projets se sont penchés sur l'analyse du cycle hydrologique dans le cadre de ses interactions avec les sous-systèmes que sont la nature, l'utilisation et la société. Le but consistait notamment à créer des liens avec d'autres domaines spécialisés, hors hydrologie. Pour les chercheurs, cette approche s'est révélée innovante. Le développement socio-économique est un facteur de changement important pour l'utilisation de l'eau. Il englobe les évolutions de l'économie, des systèmes de valeurs, de la politique et de la société. Celles-ci se répercutent sur l'utilisation des ressources naturelles. Le changement climatique constitue un autre facteur dans ce domaine. La hausse de la température et les

«Le lien avec la pratique est assuré grâce à des cours que nous avons organisés à l'intention de spécialistes. Ils ont permis d'approfondir le dialogue avec les acteurs de terrain.»

Sabine Hoffmann, Eawag, auteure de la Synthèse thématique ST 3



III. 1: l'eau, les cours d'eau, l'utilisation de l'eau et leur contexte.

«La collaboration transdisciplinaire fut pour nous tous une expérience remarquable – en particulier pour les jeunes chercheurs.»

Jürg Fuhrer, AGWAM, Agroscope

«La recherche transdisciplinaire demande de gros efforts de coordination.»

Max Maurer, SWIP, Eawag

changements probables en matière de précipitations se répercutent immédiatement sur l'eau et les ressources en eau ainsi que sur leurs propriétés physiques. Les écosystèmes aquatiques, la faune et la flore sont également touchés.

Inter- et transdisciplinarité

De la collaboration entre différentes disciplines spécifiques (interdisciplinarité) est née une dynamique particulière, tant au niveau du programme global que des différents projets. Celle-ci a favorisé la compréhension de points de vue et de procédés différents chez les personnes impliquées.

Dans la plupart des projets, les contacts avec les acteurs de terrain (transdisciplinarité) ont permis de clarifier l'importance des problématiques au niveau de la pratique et de recueillir des feedbacks. Par ailleurs, de nombreux projets ont nécessité des données qui n'auraient pas pu être mises à disposition sans les partenaires de l'administration, de l'agriculture et de l'économie des eaux. La collaboration entre la recherche et la pratique s'est avérée particulièrement fructueuse lorsque le travail en commun concernait les produits – visions d'avenir, aides à la prise de décisions, plates-formes d'information.

Le programme de recherche n'avait pas seulement pour objectif l'acquisition de connaissances: il devait également être un facteur déclencheur d'actions. Un conseil formé de spécialistes issus de la Confédération, des can-

tons et d'associations a été mis sur pied, se réunissant deux fois par an et assumant un rôle de conseil et d'appui. Afin de renforcer les liens avec la pratique, un groupe d'encadrement composé de spécialistes issus d'associations et de l'administration a également été créé pour de nombreux projets.

Pour les chercheurs, la recherche transdisciplinaire s'est révélée exigeante. Il n'a pas toujours été aisé de trouver un équilibre entre les exigences scientifiques et pratiques. Les doctorants ont notamment eu besoin d'être suivis de près par des chercheurs expérimentés.

Transfert d'informations et échange de connaissances

Les séminaires et ateliers ont renforcé les échanges entre les acteurs du monde scientifique et de terrain, mais aussi entre les projets, le but étant l'acquisition de connaissances systémiques et relatives aux objectifs, mais également d'un savoir-faire.

Au début des travaux, tous les projets ont été présentés dans une vidéo d'introduction et dans des entretiens publiés dans des revues spécialisées consacrées à l'économie des eaux en Suisse. Outre des informations et des illustrations sur le contexte de la recherche, les vidéos transmettaient également des expériences et des émotions. Elles ont fait l'objet de multiples utilisations par les chercheurs et ont atteint un large public. Les profanes les ont considérées comme une

Tab. 2: synthèse thématique (ST).

WSL = Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage
 Eawag = L'Institut de Recherche de l'Eau du Domaine des EPF
 CHYN = Centre d'hydrogéologie et géothermie de l'Université de Neuchâtel
 GIUB = Institut géographique de l'Université de Berne

ST	Intitulé	Responsable
1	Ressources en eau de la Suisse: ressources disponibles et utilisation – aujourd'hui et demain	WSL
2	La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de leur utilisation	Eawag
3	Approvisionnement en eau et assainissement des eaux usées durable en Suisse: défis et mesures possibles	Eawag, CHYN
4	Gouvernance durable de l'eau: enjeux et voies pour l'avenir	GIUB



passerelle, tandis que les spécialistes y ont vu un moyen de s'informer rapidement. A la fin du programme, des vidéos de présentation ont été réalisées. Les chercheurs et les acteurs de terrain y ont relaté leurs expériences et exposé les résultats de leurs projets.

Les résultats des différents projets ont également été présentés aux enfants et aux jeunes. Grâce à ces travaux, il a par exemple été possible de sensibiliser une frange plus large de la population aux changements rapides et inexorables en haute montagne.

Synthèses thématiques destinées aux spécialistes en hydrologie

Les projets de recherche se sont attachés à combler les lacunes observées dans les connaissances sur ce thème spécifique. Parallèlement, il était important de replacer ces connaissances dans leur contexte. A cet effet, le comité de direction a commandé relativement tôt (en 2011) quatre synthèses thématiques (ST). Celles-ci s'adressent aux spécialistes de la Confédération, des cantons et des bureaux privés. Elles présentent les résultats des projets dans un contexte particulier et mettent en lumière les possibilités d'action.

Recherche d'accompagnement

Du fait de l'accent résolu placé sur l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité ainsi que du rôle prépondérant du travail de synthèse, il a été décidé d'étudier la manière dont les projets et les synthèses thématiques ont traité ces différents défis. Deux projets de recherche d'accompagnement ont été mis sur pied à cet effet:

- ▶ Potentiel et limites de la production de savoir transdisciplinaire au sein des projets de recherche du PNR 61;
- ▶ Méthodes d'intégration interdisciplinaire et transdisciplinaire du savoir dans le processus de synthèse du PNR 61.

Les 16 projets du PNR 61 ont été analysés quant aux procédés mis en place et aux expériences vécues dans le cadre de la collaboration avec les partenaires travaillant sur le terrain. Le Fonds national suisse entendait ainsi acquérir des connaissances sur la manière d'organiser la collaboration dans les programmes transdisciplinaires. Le deuxième projet s'est penché sur les questions suivantes: l'intégration pour qui et pour quoi? L'intégration de quoi? L'intégration par qui? Quand l'intégration a-t-elle lieu? Une vue d'ensemble des méthodes appliquées en vue de l'intégration des résultats a ainsi été élaborée, parmi lesquelles l'on peut citer, p. ex., la formation d'hypothèses, les processus d'évaluation ou les modèles.

A gauche: les projets ont organisé des ateliers destinés à favoriser les échanges avec les parties prenantes.

Photo Sabine Rock

Au milieu: devant la caméra, les chercheurs racontent pourquoi leurs recherches sont importantes pour notre société. Photo Darja Aepli

A droite: échange entre les experts du conseil consultatif, le comité de direction et les chercheurs du projet MON-TANAQUA. Photo Patricia Fry

«Le savoir est toujours lié aux êtres humains. Un tel PNR peut marquer une génération entière de chercheurs.»

Martin Würsten, canton de Soleure, conseiller du programme

Pour le présent ouvrage, le comité de direction a sélectionné huit thèmes sur lesquels le programme de recherche a pu tirer des enseignements. Hormis quelques cas exceptionnels, il est impossible de fournir des informations s'appliquant à l'ensemble du territoire. Cependant, de nombreux éléments traitent de situations caractéristiques de la Suisse et peuvent s'appliquer au-delà de la région sur laquelle porte l'étude de cas.

Les huit thèmes de recherche

Zones de fonte des glaciers

Fortes précipitations, crues et charriage

Ressources en eau à l'avenir

Sécheresse estivale et étiage

Zones où l'agriculture requiert davantage d'eau

Canaux d'irrigation et paysages ruraux alpins

Pression de l'urbanisation et des besoins

Eau potable provenant des eaux souterraines

Le PNR 61 se tourne vers l'avenir

Les chercheurs éclairent les actrices et acteurs du monde politique, de l'administration et de l'économie des eaux sur les problèmes qui les attendent en matière de gestion durable de l'eau dans les décennies à venir. Ils prévoient de nouvelles ressources en eau, de nouvelles interactions et de nouvelles utilisations. Les prévisions s'appuient sur des scénarios éprouvés concernant les changements socio-économiques et climatiques.

Axes principaux du programme

Choix des thèmes

Il s'agit de thèmes actuels, auxquels se rapportent plusieurs projets du PNR 61. Les problèmes sont abordés sous plusieurs angles et les solutions sont traitées de manière approfondie. La sélection opérée ne couvre pas l'ensemble des thèmes en relation avec la gestion durable de l'eau et faisant actuellement débat en Suisse. Depuis la planification du PNR 61 (2008), les besoins relatifs aux ressources en eau ont déjà augmenté. Pour illustrer notre propos, citons par exemple la transition énergétique, laquelle a seulement été décidée après la planification du programme par le Conseil fédéral (2011).

Etablissement des prévisions: méthode appliquée par les chercheurs

Les chercheurs développent des modèles, qu'ils valident en s'appuyant sur des observations de terrain et des séries chronologiques du passé. Ces modèles constituent alors une base solide pour les prévisions d'avenir. A quels changements doit-on s'attendre? Comment ceux-ci se répercutent-ils sur l'utilisation de l'eau et le régime des eaux? Quels sont les risques de conflit à l'avenir? Comment résoudre les problèmes?

En ce qui concerne le changement climatique, les chercheurs se fondent sur les scénarios climatiques élaborés par l'IAC-ETHZ. Il est incon-

testable qu'une augmentation des températures moyennes est à venir et que celle-ci aura des conséquences sur le climat. Néanmoins, les répercussions du changement climatique sur les précipitations ne peuvent être définies avec autant de clarté. Les spécialistes en hydrologie s'intéressent essentiellement aux périodes suivantes:

- ▶ période de fonte importante des glaciers suisses (jusqu'en 2035).
- ▶ période après la fonte de la plupart des glaciers (à partir de 2085).

Au sujet du développement socio-économique, le PNR 54 «Développement durable de l'environnement construit» a élaboré, en collaboration avec des spécialistes, des scénarios relatifs au développement de l'environnement construit en Suisse (2005-2030). Ceux-ci comportent encore plus de zones d'ombre que les scénarios concernant le changement climatique.

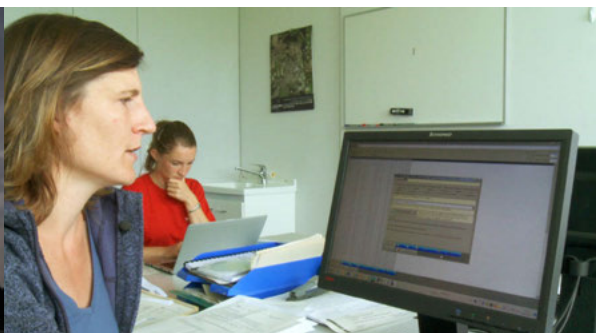
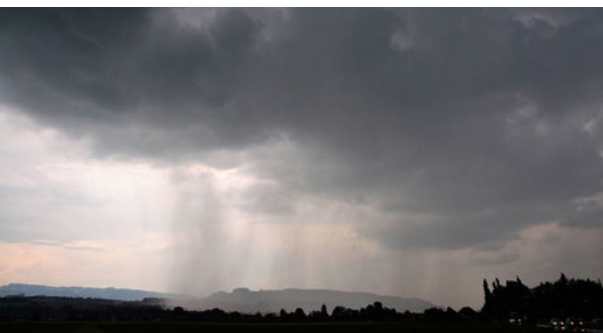
Certains projets ont appliqué des méthodes de prévision avancées telles que les «modèles bayésiens», qui calculent les probabilités de l'apparition de certains événements à l'avenir. Les différentes connaissances – les données acquises par le passé, l'expertise – sont intégrées dans un cadre méthodologique homogène.

Anticipation des changements

Le PNR 61 a pour but de mettre en évidence les nouveaux phénomènes.

Nouvelles ressources en eau: de nouveaux lacs apparaissent dans les montagnes. Le PNR 61 élabore des stratégies pour une gestion équitable et durable de ces nouvelles ressources en eau. Les discussions à ce sujet doivent commencer dès maintenant.

Nouveaux liens: le PNR 61 appréhende la complexité des problèmes de manière globale. Il montre comment l'utilisation des sols et les multiples facteurs de stress affectent le régime des eaux et les écosystèmes aquatiques, surtout sur le Plateau. A cet égard, le réchauffement clima-



tique ne représente qu'un seul facteur de stress parmi d'autres.

Nouvelles utilisations: la synthèse thématique 2 «La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de son exploitation» fournit un aperçu des nouvelles évolutions dans le cadre de l'utilisation des eaux en Suisse. Les possibilités d'utilisation multifonctionnelle des bassins d'accumulation sont étudiées.

Nouvelles situations: le changement climatique engendre de nouvelles situations. Les périodes de sécheresse extrême en été en constituent un exemple. Sur les huit thèmes traités, trois abordent ces phénomènes ainsi que les répercussions des fortes précipitations sur les crues et le charriage.

Nouveaux conflits: par exemple la lutte pour la surface et l'utilisation intensive des eaux souterraines.

Transfert des connaissances: dans quelle mesure est-il possible?

La plupart des projets ont examiné les liens existant au sein des régions dans le cadre d'études de cas. Si les méthodes et approches mises en œuvre peuvent être transférées sans problème à d'autres régions, il est parfois difficile de transposer les résultats et de tirer des conclusions sur la situation d'autres régions en se basant sur ces études de cas. La pertinence géographique des projets est variable. Hormis certains cas exceptionnels, il est impossible de fournir des informations s'appliquant à l'ensemble du territoire. Chaque projet a été assorti d'une phase de recherche de quatre ans. Dans le domaine de l'hydrologie, il s'agit d'une période d'observation relativement courte pour comprendre les processus et recueillir les données permettant d'étayer les prévisions à long terme.

A gauche: les précipitations devraient augmenter en hiver du fait du changement climatique.

Photo Philippe Gyarmati

Au milieu: les modélisations jouent un rôle important pour les prévisions. AGWAM

A droite: le PNR 61 affine notre vision de l'avenir.

Photo minikunst

Niveau	Les projets du PNR 61
Suisse	IWAGO, SWISSKARST
Etudes régionales	AGWAM, MONTANAQUA, DROUGHT-CH, NELAK, FUGE, HYDROSERV, GW-TREND, SWIP
Etudes locales	IWAQA, RIBACLIM, SACFLOOD, SEDRIVER, WATERCHANNELS, GW-TEMP

Tab. 3: portée géographique des 16 projets
Acronyme des projets, cf. annexe p. 120.

Les conclusions du projet NELAK sur les chances et les risques liés aux nouveaux lacs sont synthétisées dans un ouvrage à part entière.

Des modèles de calcul conviviaux permettent d'évaluer l'évolution des glaciers en fonction du climat.

Où fondent les glaciers

Les répercussions du changement climatique sont déjà visibles et tangibles en haute montagne. Un nouveau paysage est en train de voir le jour là où fondent les glaciers. De nouveaux lacs peuvent se former. S'ils offrent des perspectives positives, ils représentent aussi un facteur de risques. Les éboulis et l'augmentation prévue des fortes précipitations peuvent contribuer à accroître l'apport de sédiments dans les lacs de barrage.

Les hautes montagnes en point de mire

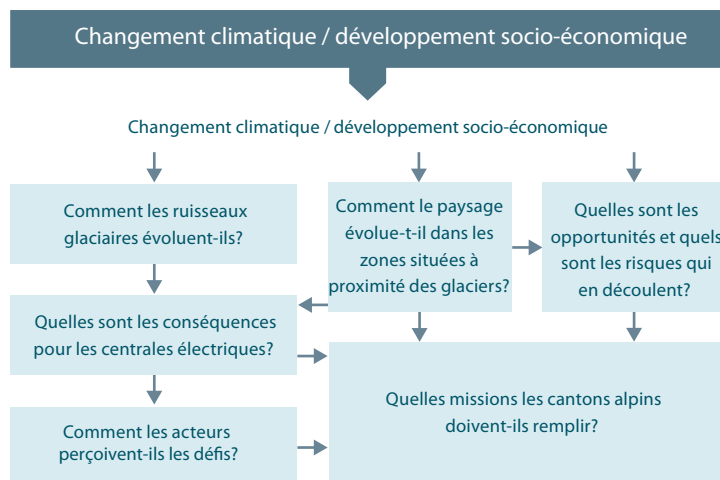
Les hautes montagnes sont durement touchées par le changement climatique. Les masses de glace et de neige stockées dans les Alpes diminueront fortement d'ici à la fin du XXI^e siècle. La limite des chutes de neige s'élèvera. Selon les prévisions, la fonte devrait toucher environ 90% du volume de glace présent en Suisse.

Au cours du siècle dernier, la température moyenne a augmenté deux à trois fois plus dans le massif alpin que dans les plaines. La neige et la glace reflètent la lumière incidente. Par conséquent, la zone se réchauffe fortement quand elles fondent. Les répercussions de ce changement ont d'ores et déjà été examinées dans plu-

sieurs programmes de recherche: CCHYDRO, CCWASSERKRAFT et ACQWA. Les études portant sur le régime des eaux en Suisse indiquent où le recul des glaciers du massif alpin suisse pourrait se répercuter sur le débit et les eaux souterraines du Plateau, ainsi que l'ampleur de cette répercussion.

Les autorités et les acteurs de l'économie énergétique ont besoin de prévisions aussi précises que possible. Une grande partie des concessions octroyées pour l'utilisation de l'eau seront renouvelées d'ici à 2055. Par ailleurs, les sociétés exploitant les centrales électriques doivent être conseillées au sujet des changements à prévoir afin de pouvoir optimiser leur exploitation. Sont requis, à cet égard, des scénarios réalistes envisageant l'évolution possible des surfaces et des volumes des glaciers à l'avenir. Les glaciers ont une incidence non négligeable sur le régime des débits des ruisseaux de haute montagne. Les zones de fonte des glaciers sont marquées par une augmentation de la charge sédimentaire, ce qui peut porter atteinte aux installations. Le recul des glaciers ne préoccupe pas seulement les exploitants de centrales électriques, mais également les professionnels du tourisme et les autorités en charge de la protection de la nature et du paysage. L'apparition de nouveaux

III. 2: zones de fonte des glaciers – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.





lacs pose effectivement des questions d'ordre juridique, notamment de propriété, de responsabilité et de protection.

Aspects mis en avant par le PNR 61

Le Programme de recherche a permis d'acquérir des connaissances notables sur les processus et changements régionaux et locaux à prévoir suite à cette fonte des glaciers dans les hautes Alpes. Jusqu'à présent, aucune autre région montagneuse du monde n'avait fait l'objet d'une étude aussi détaillée quant aux transformations futures des glaciers.

Le projet FUGE a contribué à améliorer les méthodes et connaissances des processus intervenant dans la fonte des glaciers. Il a examiné les répercussions de ce phénomène sur le débit, les lacs de barrage et les centrales électriques. Le projet NELAK a étudié l'évolution rapide du paysage de haute montagne ainsi que les lacs nouvellement formés dans le contexte de la fonte des glaciers. La Suisse est le premier pays à disposer d'une étude de base concernant la gestion des nouveaux lacs et permettant de connaître les opportunités et les risques y afférents.

Les deux projets ont donné lieu à un dialogue approfondi avec les parties prenantes et les personnes concernées. Une large couche de la population a ainsi pris conscience du caractère inexorable des modifications rapides intervenant en haute montagne. Parmi les spécialistes, il existe désormais un ample consensus

autour du fait que la période de référence de 2050 ne marque pas la fin, mais plutôt le début de problèmes véritablement épineux en haute montagne. D'ici là, de nombreux glaciers auront fondu. Grâce au PNR 61, la question «Que faire si?» a été remplacée par «Que faire maintenant?».

Où et comment les glaciers disparaissent-ils?

Les chercheurs ont examiné 50 glaciers en détail. Cet échantillon représente environ 50% de la surface des glaciers et 75% du volume de glace de la Suisse (2010). Les résultats ont permis d'élaborer un schéma réaliste de l'évolution des glaciers dans les Alpes suisses. Ainsi, la Suisse dispose aujourd'hui d'une modélisation unique de la fonte des glaciers. Pour de nombreuses régions, les visualisations de l'évolution à prévoir englobent les périodes 1900, 2010 et 2100. D'ici à 2100, 90% du volume de glace actuel devrait fondre sous l'effet du changement climatique. Sur les 50 glaciers étudiés, jusqu'à 20 disparaîtront. Les masses de glace restantes seront situées à plus de 3000 m d'altitude.

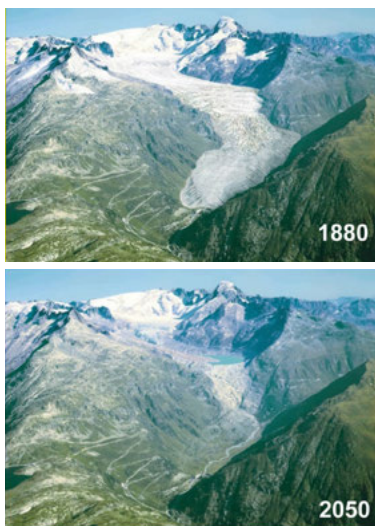
Pour réaliser une modélisation plus précise, il conviendrait de disposer de meilleures données. Malheureusement, les stations de mesure sont encore insuffisantes en haute montagne. Le calcul de la répartition spatiale de l'accumulation de neige sur les glaciers, notamment, présente toujours autant d'incertitudes et l'on s'appuie sur les données des précipitations obtenues dans les stations climatiques voisines. En outre,

A gauche: en Suisse, la plupart des glaciers auront fondu avant la fin de ce siècle. Ici, la fonte du glacier de Gries.

FUGE

Au milieu: un nouveau lac s'est formé durant ces dix dernières années en contrebas du glacier de Trift. NELAK

A droite: quelles sont les conséquences du changement climatique sur les crues et le charriage? SEDRIVER



III. 3: dans quelle mesure le glacier du Rhône recule-t-il? Le projet FUGE décrit ce phénomène en image.

les estimations concernant l'impact du degré de couverture morainique sur la transformation des glaciers manquent toujours autant de précision. En effet, l'évolution de cette couverture morainique constitue à l'heure actuelle une grande inconnue, tout comme ses répercussions sur la fonte de la glace.

Des modèles précis pour les bassins versants

Les ingénieurs qui conseillent les hydroélectriciens doivent avoir une idée précise de la topographie du terrain sur lequel reposent les glaciers. A cet effet, des mesures géophysiques exhaustives sur l'épaisseur de la glace sont nécessaires. Les résultats doivent ensuite être combinés aux modélisations de l'écoulement des glaciers.

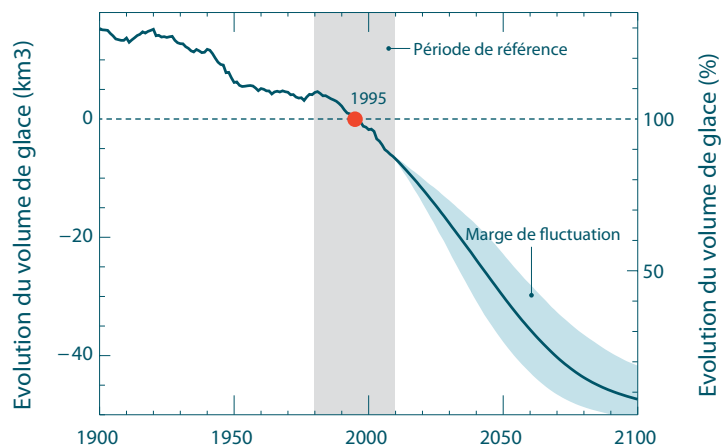
Le projet FUGE a permis de trouver des solutions à ces problèmes. Les modèles existants ont été améliorés, puis associés les uns aux autres pour la première fois. Les nouveaux modèles tiennent compte des mouvements d'écoulement et de reptation des glaciers. L'épaisseur de la glace a été déterminée, sous l'angle géophysique, au moyen de données radars acquises par hélicoptère. Ce faisant, différents systèmes radars aéroportés ont été testés. Les chercheurs ont ainsi collecté des données relatives aux glaciers suisses sur une distance de vol de 1000 km.

Grâce à la combinaison des données radars et des modèles, il a été possible d'estimer le volume de glace plus précisément qu'auparavant. Le bassin versant des centrales de Mauvoisin (VS), recouvert d'importants glaciers, en est un bon exemple. Le projet FUGE a démontré que les anciennes estimations relatives au volume de glace étaient trop élevées. Pour les ingénieurs, les écarts sont considérables. Il est nécessaire de disposer de connaissances sur la répartition du volume de glace et sur la topographie du lit du glacier pour garantir un calcul fiable de l'évolution future d'un glacier et de la production du débit.

Modification des ruisseaux glaciaires

Le débit des ruisseaux glaciaires dépend fortement de la fonte des neiges et des glaces. On estime que l'eau de ces ruisseaux est composée en moyenne à 20% d'eau de pluie, à 40% de neige et à 40% de glace. Le recul des glaciers et la hausse de la limite des neiges se répercutent donc directement sur ce débit. Au cours des prochaines décennies, les débits annuels de ces ruisseaux augmenteront sous l'effet de la fonte des glaciers. Ils diminueront toutefois après la fonte de la glace (entre 2030 et 2050). Vers la fin du siècle, les glaciers n'auront plus qu'une influence limitée sur les débits dans les vallées alpines.

III. 4: évolution du volume de glace des 50 glaciers étudiés, par rapport à la période de référence du changement climatique 1980-2009. FUGE





La répartition saisonnière des débits évolue également. Les débits mensuels moyens les plus élevés sont aujourd'hui atteints en plein été. Du fait du changement climatique, les débits estivaux devraient diminuer et apparaître un à deux mois plus tôt dans l'année. La fonte des glaciers libère également des roches meubles. Le transport de sédiments dans les torrents augmente. Cette charge sédimentaire se dépose dans les barrages et autres lacs, et accélère l'atterrissement.

Evolution des paysages dans les zones proches des glaciers

Le recul des glaciers est responsable de l'évolution rapide des paysages de haute montagne. Il se forme des paysages constitués d'éboulis, de roches et de lacs ainsi que de végétation éparse. Le régime des eaux est radicalement modifié. Les changements susceptibles d'intervenir ont été illustrés dans le projet NELAK.

Plusieurs centaines de nouveaux lacs apparaîtront dans les Alpes suisses. Beaucoup d'entre eux seront de petite taille et ne subsisteront pas longtemps. En revanche, d'autres régions verront apparaître des lacs représentant un intérêt certain pour le tourisme et l'économie énergétique. Les grands lacs devraient principalement se former dans les zones plus plates des glaciers de vallée, tels qu'Aletsch, Corbassière, Gornier ou Otemma (tous situés dans le Valais). Ces lacs exerceront une influence considérable sur les paysages des hautes montagnes dans les

générations futures. Par ailleurs, la présence de barrages pourrait accroître le volume de ces lacs. Il est très probable que le glacier d'Aletsch (VS) constitue à long terme la zone la plus importante pour ce type de lacs dans le massif alpin. C'est là en effet que devraient se trouver les nouveaux lacs les plus grands du massif alpin après 2050.

Attention: dangers naturels!

Parmi ces lacs, nombreux sont ceux qui se forment au pied de grands flancs de montagne abrupts. La stabilité de ces pentes diminue en raison de la réduction de la pression des masses de glace et de la fonte du permafrost. La probabilité que surviennent, dans les lacs des hautes Alpes, d'importants glissements de terrain de nature à entraîner des crues jusqu'au fond des vallées reste certes faible aujourd'hui, mais elle prendra de l'ampleur avec la progression du recul des glaciers et l'apparition de nouveaux lacs. Le projet NELAK a pu démontrer, à la lumière de plusieurs exemples, l'enchaînement des processus et la façon dont les nouveaux lacs ont une incidence sur les dangers naturels.

A ce sujet, le glacier inférieur de Grindelwald (BE) est un bon exemple, qui a fait l'objet de plusieurs études. Un nouveau lac s'est formé sur la langue glaciaire, tandis que la fonte des couches de permafrost déstabilise les roches meubles et les pentes. Le risque de glissement de terrain s'accroît également en raison de la diminution de la pression physique des masses de glace. Un glis-

A gauche: mesure de l'épaisseur de la glace. Photo Andreas Bauder

Au milieu: la lagune 513 du Nevado Hualcàn, Pérou: les ruptures du glacier déclenchent des raz de marée mettant de nombreuses vies en danger. Photo Wilfried Haeberli

A droite: pour les exploitants de centrales électriques, les incertitudes politiques et économiques représentent un problème plus important que le changement climatique. Photo Lisa Rigendinger

Le service spécialisé dans les dangers naturels du canton de Berne suit le projet NELAK avec un grand intérêt. Il entend répertorier et analyser les «nouveaux» dangers naturels de manière systématique.

«La population doit prendre conscience du fait que la dynamique du paysage prend de la vitesse et que l'avenir sera radicalement différent du présent.»

*Wilfried Haeberli, Université de Zurich.
Visionner le DVD pour en savoir plus.*

sement de terrain dans ces lacs aurait des conséquences fatales. Les autorités ont déjà pris des mesures afin de prévenir tout déversement du lac vers Grindelwald. Le coût de ces mesures s'est révélé nettement inférieur aux montants estimatifs des dégâts et dommages qui pourraient résulter d'un débordement. Parmi les répercussions possibles, on peut notamment citer les pertes de production et une dégradation de l'image.

Les glissements survenant dans ce type de lacs peuvent entraîner des crues de grande ampleur. Les infrastructures de la vallée sont menacées. Dans ce cas, des systèmes de détection précoce sont indispensables. Le projet NELAK nous a ouvert les yeux à cet égard. Il est illusoire de croire que le temps ne nous est pas compté. Les travaux à entreprendre dans le cadre des mesures d'aménagement du territoire, d'organisation et de construction visant à protéger les êtres humains, les agglomérations et les infrastructures demandent du temps. Il faut prendre les

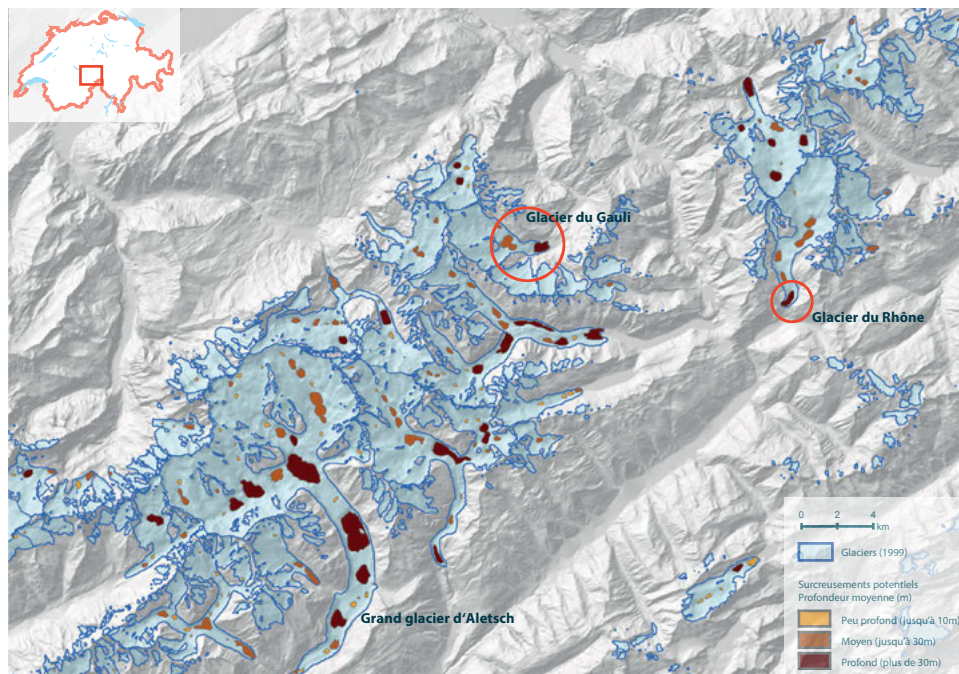
choses en main dès aujourd'hui et accorder la priorité absolue à la réduction des risques.

Nouveaux lacs: un intérêt pour certaines utilisations

La base de connaissances élaborée dans le cadre du PNR 61 permet de discuter et de planifier l'utilisation et la protection de ces nouveaux paysages, et en particulier de ces nouveaux lacs. Ces derniers compensent en partie la perte d'attractivité du paysage due à la fonte des glaciers. Ils pourraient même jouer un rôle dans l'approvisionnement en eau pendant les étés qui, en l'absence de glaciers, deviendront plus chauds et plus secs. L'introduction de poissons est envisageable. Dans nombre de régions, les nouveaux lacs pourront enrichir l'offre touristique.

Les lacs présentent également un certain intérêt pour la production hydroélectrique. Les calculs du projet NELAK montrent que, en cas de retenue des principaux nouveaux lacs, il est possible

III. 5: zones de la région d'Aletsch dans lesquelles les nouveaux lacs pourraient se former. NELAK



d'obtenir un volume de stockage supplémentaire pouvant atteindre jusqu'à 50% des réservoirs actuels. Selon les situations, il faudra prévoir des dispositifs de consolidation ou des barrages de retenue.

Propriété et responsabilités

L'apparition des nouveaux lacs pose des questions d'ordre juridique liées à l'utilisation et à la protection des lieux. Ces questions ont donné lieu à une expertise juridique dans le cadre du projet NELAK. Elles portent non seulement sur la souveraineté et la propriété relatives aux lacs glaciaires, mais également sur les responsabilités liées à la gestion des dangers naturels et des cas de sinistres.

A cet égard, les lacs glaciaires doivent être traités comme des zones rocheuses et glaciaires du point de vue des droits réels. En tant que «sol incultivable», ils appartiennent au domaine public et sont affectés à l'usage commun. Ils peuvent être utilisés par tout un chacun à des fins personnelles, mais non à des fins commerciales. Ils relèvent de la souveraineté ou sont la propriété des cantons. Ces derniers peuvent déléguer les droits y afférents aux communes. En règle générale, ces lacs constituent des ressources en eau publiques: la propriété privée n'est possible que si elle est établie sur la base de documents (pour la plupart historiques) dans le cadre d'une procédure judiciaire – ce qui fut le cas pour le glacier du Rhône (VS) et le glacier de l'Unteraar (BE).

Pour ce qui est de la responsabilité, il y a lieu de faire la distinction entre la compétence relative à l'adoption de mesures de protection et les conséquences en matière de responsabilité civile et pénale si des accidents ou des dommages surviennent en cas de manquements. Les communes et les cantons, ou le propriétaire de l'exploitation, répondent des mesures de protection. A cet effet, les cantons utilisent les instruments de gestion intégrée des risques. Les mesures d'aménagement du territoire telles que les restrictions d'utilisation sont prioritaires. Les ouvrages de protection tels que les canaux de

fuite, les corrections ou les barrages, peuvent y contribuer.

S'agissant de l'utilisation de ces ressources en eau dans le cadre de l'énergie hydraulique, les cantons peuvent octroyer des concessions d'une durée maximale de 80 ans. Dans certains cantons, les communes ont la souveraineté sur l'eau. Outre les aspects liés à la sécurité, il faut toujours tenir compte, dans le cadre de la protection contre les crues, du caractère acceptable des mesures de protection du point de vue financier et personnel ainsi que de leur impact environnemental. En cas de menaces extrêmes, des programmes de sécurité, des alertes, des alarmes et, le cas échéant, des évacuations sont nécessaires.

Nouvelles tâches en matière de protection de la nature et des paysages

Les glaciers touchés par la fonte et les nouveaux lacs se trouvent souvent dans des zones protégées, telles que les zones alluviales, les paysages d'importance nationale ou classés au patrimoine culturel mondial de l'UNESCO, ce qui limite considérablement la mise en œuvre de nouveaux projets dans les domaines de l'énergie hydraulique et du tourisme. Il convient de préciser les dispositions de sécurité pour les zones dans lesquelles les glaciers disparaissent: où faut-il accorder la priorité à la prévention contre les risques, à la protection et aux intérêts économiques? Les périmètres de sécurité des marges proglaciaires doivent-ils être ajustés en fonction du recul des glaciers? Il revient aux administrations de la Confédération et des cantons de s'acquitter de ces nouvelles tâches.

Conséquences pour les centrales électriques et les bassins d'accumulation

Dans le cadre des projets FUGE et NELAK, des stratégies ont été élaborées visant une gestion optimale et orientée vers l'avenir des centrales hydroélectriques, tout en tenant compte des changements prévus liés au climat. Pour de nombreuses centrales hydroélectriques, les apports d'eau annuels dans les retenues devraient augmenter dans un premier temps, suite au recul

«De nombreuses centrales hydro-électriques ne savent pas encore comment elles vont aborder les changements à venir. Notre projet pourrait susciter la réflexion des responsables.»

Martin Funk, FUGE, EPF de Zurich.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

«Les cartes du projet NELAK nous permettent d'identifier les régions sensibles afin de mieux les surveiller à l'avenir.»

Nils Hählen, chef de la Division Dangers naturels, canton de Berne.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

des glaciers (d'ici à 2050). Les centrales profiteront alors de ressources hydrauliques supplémentaires résultant de la disparition des glaciers. Quant à savoir s'il est utile d'investir en faveur de la production d'électricité, cela dépend de la rentabilité des différentes centrales électriques.

L'apport de sédiments dans les bassins d'accumulation peut poser problème. L'aménagement de barrages et de bassins à alluvions aux endroits appropriés peut atténuer ce phénomène. Il faudra procéder de plus en plus souvent des purges. Pour les petits bassins d'accumulation, un simple pompage suffit. Il est à noter que ces deux mesures entraînent des pertes de production énergétique.

Au cours des prochaines décennies, de nombreuses centrales électriques devront s'attacher à compenser les éventuelles pertes de production et de revenus par une bonne gestion des réserves. Malheureusement, les volumes des bassins d'accumulation ne sont pas dimensionnés de façon optimale pour faire face aux pointes de crues prévues en raison du changement climatique. Quant à prédire ce qui se passera dans un avenir plus lointain (à compter de 2050), voilà un véritable casse-tête. De nombreuses concessions devront être renouvelées au cours des prochaines décennies. Nombre de centrales électriques éprouvent des difficultés à développer une stratégie à long terme. L'avenir de l'énergie hydraulique est incertain, y compris en ce qui concerne les conditions du marché, les prix et l'évolution de la politique énergétique. Il est nécessaire de réaliser des études détaillées au cas par cas, la mise en œuvre de stratégies globales risquant d'aboutir à des décisions erronées. Le projet FUGE a examiné des scénarios à l'horizon 2100 en prenant pour exemple les centrales de Mauvoisin (VS). Le bassin versant est recouvert de glaciers importants. En l'occurrence, il faudra probablement s'attendre aux pertes suivantes après la fonte des glaciers: apports (-18%), production (-16%) et revenus (-13%) – sachant que ce dernier point se réfère aux prix et conditions du marché en 2014. Les pertes peuvent être en partie compensées par des mesures micro-éco-

nomiques. A la surprise des exploitants de ces centrales électriques, les pertes consécutives au recul des débits se sont avérées inférieures à ce qu'ils avaient prévu. Pour ces exploitants, les incertitudes des milieux politiques et économiques représentent un problème bien plus important que le changement climatique.

Les tâches des cantons alpins

La Confédération, les cantons et les communes doivent veiller à définir des conditions-cadres claires pour l'utilisation de l'énergie hydraulique et à régler les conflits découlant de la fonte des glaciers. L'ensemble des intérêts liés à l'utilisation et à la protection doivent être soigneusement soupesés. Par ailleurs, il est déconseillé de laisser les nouveaux lacs évoluer librement. En effet, il est nécessaire de garantir une collaboration entre les acteurs des différents domaines que sont la protection des eaux et du paysage, la protection contre les crues, l'énergie hydraulique et l'approvisionnement en eau. La gestion des opportunités et des risques que renferment ces lacs constitue un défi à prendre très au sérieux. Dans ce contexte, sont nécessaires:

- ▶ de meilleurs éléments de base pour la modélisation des nouveaux paysages de haute montagne exempts de glaciers,
- ▶ un suivi des modifications et une évaluation continue du potentiel de risques, y compris des crues de grande ampleur,
- ▶ une estimation du potentiel économique des nouveaux lacs, en particulier en ce qui concerne l'exploitation de réservoirs remplis par pompage, la rétention sédimentaire et la mise en valeur touristique,
- ▶ la prise en compte des nouvelles évolutions politiques et juridiques ainsi que des connaissances acquises dans le cadre de la planification, de l'attribution de concessions et d'autres instruments.

Ce faisant, les cantons peuvent compter sur leurs partenaires. Les associations et fédérations engagées dans la protection des Alpes se penchent de plus en plus sur le phénomène de l'évolution



rapide des paysages de haute montagne. Citons, à titre d'exemple, le Club Alpin Suisse CAS: ses principales missions concernent l'évolution du paysage, la promotion de l'alpinisme et la protection des montagnes.

Les hautes montagnes dans le monde

Les résultats du projet NELAK ont suscité un grand intérêt dans les autres régions montagneuses du monde. En raison du changement climatique, les sommets deviennent des zones à problèmes en maints endroits. Dans l'Himalaya ou dans les Andes, les risques liés à l'apparition de nouveaux lacs sont nettement plus élevés qu'en Suisse. Dans des pays comme le Pérou, des événements de grande ampleur impliquant des ruptures de glaciers de plusieurs millions de mètres cubes sont possibles. S'ils tombent dans des lacs, ils peuvent déclencher des crues mettant de nombreuses vies humaines en danger. L'exemple du Nevado Hualcan (Pérou) est très parlant: en avril 2010, une avalanche de roches et de glace a déclenché un mascaret de 25 m de haut qui a causé des dégâts dans toute la vallée.

Points restant à traiter

Les recherches portant sur les conséquences de la fonte des glaciers n'en sont qu'à leurs prémices. Il est impératif de poursuivre les travaux afin de comprendre l'enchaînement des processus à l'œuvre dans les paysages nouvellement créés. Les bases de données relatives aux modélisations, en particulier en haute montagne, sont encore bien minces.

Il est important de réaliser des études de cas spécifiques intégrant toutes les parties prenantes et les personnes concernées.

Recommandations

La Confédération et les cantons doivent intégrer les nouveaux phénomènes dans leurs planifications et, de manière générale, gérer la coordination de façon plus active.

Il n'y a pas de temps à perdre. Certes, les phénomènes ne devraient s'amplifier qu'après 2050, mais la planification et la mise en œuvre de mesures demandent généralement beaucoup de temps.

Les hautes montagnes requièrent la mise sur pied des réseaux de mesures fiables pour les données météorologiques et hydrologiques.

A gauche: Schächental (UR). La capacité de rétention et le comportement du débit dans les bassins versants alpins sont mieux appréhendés grâce au PNR 61. SACFLOOD

Au milieu: des essais d'arrosage ont permis de déterminer la quantité d'eau qui s'infiltre dans le sous-sol.

SACFLOOD

A droite: des crues plus fortes et plus fréquentes en hiver ont un impact sur le régime de charriage des rivières.

Les acteurs de terrain disposent d'un nouveau modèle de calcul grâce au PNR 61. SEDRIVER

Fortes précipitations, crues et charriage

Il est possible que le changement climatique entraîne une augmentation marquée des fortes précipitations. L'apparition éventuelle de crues liées à ce phénomène dépendra de la capacité de stockage des bassins versants. Jusqu'à présent, peu d'études ont été réalisées à ce sujet dans le massif alpin. Les crues influencent également le régime de charriage et, partant, les conditions de vie des poissons. Dans les zones subissent une augmentation des crues, la collaboration entre les riverains en amont et en aval est plus que jamais d'actualité.

Les cantons de montagne en point de mire

Le XIX^e siècle a connu une période caractérisée par de fortes crues. Après une phase relativement calme, une recrudescence des crues a été observée durant les dernières décennies. Les cantons de montagne sont les premiers concernés. En raison du changement climatique, le nombre, l'intensité et la répartition temporelle des épisodes pluvieux risquent d'évoluer. L'avenir devrait ainsi très vraisemblablement être marqué

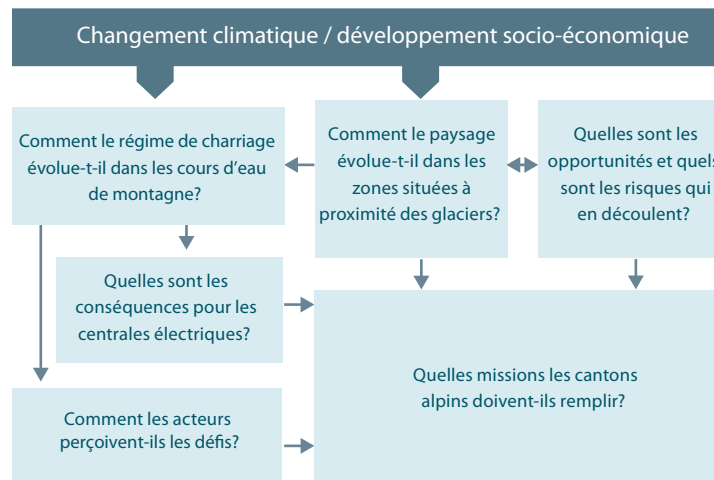
par davantage de fortes précipitations, notamment dans les Alpes méridionales. Jusqu'à présent, peu d'études ont été réalisées sur la capacité de ces précipitations à provoquer des crues, et le cas échéant, sur leur période d'apparition. Les connaissances sur le comportement des bassins versants alpins, en particulier ceux de taille moyenne (50-500 km²), sont encore lacunaires. Le changement climatique peut également influencer le régime de charriage. Certains cours d'eau de montagne transportent plus de graviers et de sable lorsque la fonte des glaciers et du permafrost entraîne la libération de roches meubles dans le cours supérieur. Il est encore difficile de procéder à des mesures quantitatives, en particulier dans les chenaux raides et naturels. Les modifications du régime de charriage peuvent se répercuter sur la stabilité des ouvrages de protection des berges et sur les conditions de vie des poissons.

La Suisse prévoit de gros investissements en vue de renaturer des cours d'eau et d'accroître la migration des poissons. Les planificateurs et les ingénieurs doivent pouvoir se représenter l'évolution de la situation au cours des prochaines décennies. Si les problèmes liés aux crues devaient s'aggraver à l'avenir, les acteurs

«Il pleut beaucoup et fort dans l'Entlebuch. Nous aimerions savoir s'il est possible de briser les pics de crue, grâce à une utilisation appropriée du sol dans le cours supérieur, en collaboration avec les personnes concernées.»

Christoph Böhnner, canton de Lucerne, Conseil consultatif.

III. 6: fortes précipitations, crues et charriage – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.



politiques et administratifs seront également confrontés à la question suivante: les modifications dans l'utilisation des sols en amont du cours d'eau peuvent-elles permettre de réduire le risque de crues dans les zones de concentration urbaine (en aval)?

Aspects étudié par le PNR 61

Le projet SACFLOOD approfondit les connaissances sur le comportement du débit, la capacité de retenue et la formation de crues dans les bassins versants alpins. La recherche s'est concentrée sur le Schächental (UR), car le débit réagissait lentement aux chutes de pluie malgré la raideur de la pente. Les interactions complexes entre les réserves et les mécanismes du débit ont été différenciées.

Le projet SEDRIVER a examiné le régime de charriage et les répercussions possibles sur les conditions de vie des truites de rivière. Des études détaillées ont été réalisées dans la Lüttschine blanche (BE), le Necker (SG), le Rhin antérieur (GR) et la Furkareuss (UR). Un modèle pouvant faire office de standard dans le cadre des prévisions de charriage dans les bassins versants à forte déclivité en Suisse a été élaboré. Il est déjà très utilisé dans la pratique.

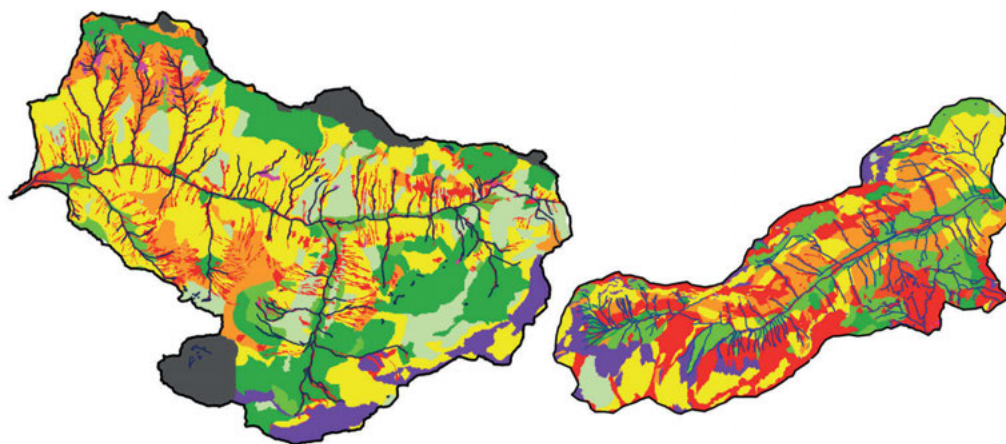
Comment les prestations fournies par les communes en amont pour les communes en aval peuvent-elles être mesurées et indemnisées? Le projet HYDROSERV s'est penché sur ce sujet dans le bassin versant de la Petite Emme (Entlebuch, LU). Il a élaboré des principes de base pour le calcul des «services écosystémiques hydrologiques» (en anglais: «Hydrological Ecosystem Services» ou HESS).

L'influence du changement climatique sur les dangers naturels n'a été traitée qu'en marge du PNR 61. Un programme de recherche antérieur, le PNR 31 «Changements climatiques et catastrophes naturelles», a déjà fourni des résultats à ce sujet.

Capacité de stockage des bassins versants alpins

La probabilité que de fortes précipitations provoquent des crues dépend essentiellement de la capacité de stockage du sous-sol. Si le sous-sol est peu perméable, de courtes précipitations orageuses suffisent à entraîner des crues. Si, en revanche, il se compose de nombreuses couches profondes, d'éboulis ou de moraines, l'événement se produira plutôt après des pluies abondantes de longue durée.

Le projet SEDRIVER met à la disposition de la pratique un modèle informatisé (SedFlow). Grâce à sa vitesse de calcul élevée, il permet de réaliser des mesures détaillées sur le régime de charriage.



III. 7: le Schächental (à gauche) et le Rhin postérieur (à droite) réagissent d'une manière totalement différente aux fortes précipitations. Les pentes signalées en violet et en rouge contribuent fortement à la formation de crues. SACFLOOD



A gauche: les truites de rivière enfouissent leurs œufs entre 4 et 10 cm de profondeur. Les modifications du régime de charriage les perturbent notablement.

Photo Armin Peter

Au milieu: les tronçons de rivière proches de l'état naturel joueront à l'avenir un rôle plus important pour les poissons. SEDRIVER

A droite: les bassins d'accumulation contribuent dans une large mesure à retenir les eaux des crues.

Photo Florian Widmer

Des essais d'aspersion effectués sur certaines pentes du Schächental (UR) ont permis au projet SACFLOOD de déterminer, pour chaque type de sous-sol, où se situent les valeurs limites à partir desquelles l'eau ne s'infiltré plus. Il a été démontré que la capacité de stockage du sol était supérieure aux prévisions et que la majeure partie de l'eau s'infiltrait dans le sous-sol. La capacité de stockage du sous-sol ralentit les débits de pointe, même sur des pentes escarpées. En fonction des caractéristiques d'un paysage, il se peut que certaines sources qui réagissent rapidement entraînent une crue.

Les processus se révèlent plus compliqués que prévu. Certaines surfaces réagissent directement après un épisode pluvieux, d'autres de manière différée, après plusieurs heures. La zone non saturée du sol joue un rôle important dans la phase initiale des événements pluvieux. La capacité de stockage et la perméabilité du sol et du sous-sol sont des facteurs déterminants. La pente n'a que peu d'influence. La question de l'utilisation des sols n'est importante que dans les régions plates.

Enfin de meilleurs modèles!

Les méthodes et modèles développés par le projet SACFLOOD s'appliquent à de nombreux bassins versants alpins. Les prévisions relatives aux crues peuvent ainsi gagner en précision. Elles permettent de mieux se préparer aux fortes précipitations susceptibles d'augmenter en raison du changement climatique. Les cartes indiquent

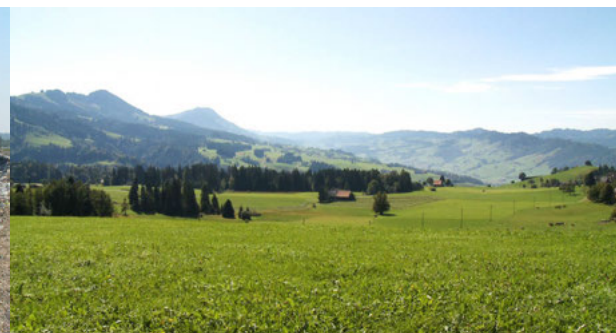
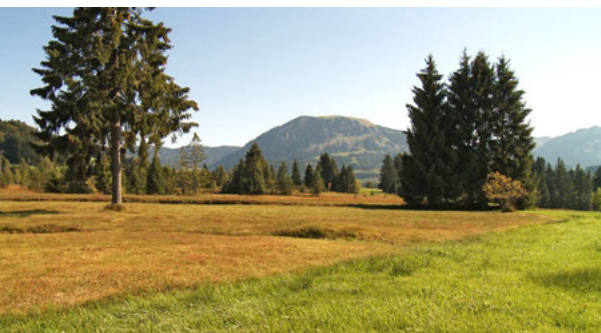
la capacité de stockage d'eau des pentes. Par ailleurs, la répartition géographique des surfaces détermine le risque d'apparition de grandes crues subites.

Les résultats de l'étude du Schächental (UR; 109 km²) ont été comparés avec des mesures réalisées dans la vallée du Rhin postérieur (GR; 54 km²). La vallée du Rhin postérieur (GR) présente majoritairement des sols superficiels sur roche (signalés en rouge). C'est ce qui explique que le Rhin postérieur (GR) réagisse rapidement aux précipitations. En revanche, le Schächen (UR) réagit d'abord de manière modérée. En cas de précipitations abondantes, le niveau de l'eau augmente toutefois soudainement.

Crues et charriage

Dans les cours d'eau suisses, le charriage est perturbé en maints endroits par des installations telles que les centrales, les gravières et les aménagements de cours d'eau. La loi révisée sur la protection des eaux (art. 43a) impose aux détenteurs de ces installations d'assainir le régime de charriage. A cet effet, il est nécessaire de réaliser des estimations approfondies pour le développement du charriage et du transport de sédiments.

Le changement climatique devrait modifier la période d'apparition et l'intensité des crues. Des crues plus importantes entraînent le transport d'une plus grande quantité de gravier et de sable des affluents vers les cours d'eau de mon-



tagne. Grâce au projet SEDRIVER, il est désormais possible de procéder à des estimations dans les chenaux raides de ces cours d'eau. Ces chenaux présentent un lit de sédiments en partie très grossiers. Les affluents apportent de nombreux sédiments. Les chercheurs se sont penchés sur ces conditions spécifiques. Le modèle (SedFlow) calcule le transport du charriage le long des chenaux. Il est ainsi possible de prévoir les phénomènes de colmatage et les érosions.

Dans le cadre du PNR 61, le modèle a été contrôlé et ajusté aux différents chenaux du massif alpin suisse. Pour ce faire, les chercheurs se sont basés sur des données relatives aux crues passées, complétées par des observations du charriage effectuées sur le terrain. Après ajustement, le modèle SedFlow pourra également être utilisé dans d'autres rivières de montagne. Pour la période 2021-2050, peu de changements sont prévus par rapport à la situation actuelle dans les zones étudiées par SEDRIVER. Dans un futur lointain (2071-2100), il se peut toutefois que l'on assiste, dans les tronçons raides des rivières de montagne analysées, à une modification de la profondeur d'érosion maximale pendant la période de frai des poissons en hiver.

La stabilité des ouvrages de protection des berges est-elle menacée?

L'influence exercée par les modifications du charriage dues au climat sur la stabilité des ouvrages de protection contre les crues et, plus précisément, les risques qui en découlent ont également été étudiés. Il se peut que les ouvrages de protection des berges, tels que les enrochements, ne remplissent pas leur rôle en cas de forte érosion du lit du chenal.

Les probabilités de défaillance diffèrent selon le type d'ouvrage de protection des berges – empierrements superficiels, enrochement. Des analyses doivent être réalisées au cas par cas. Dans le cas des enrochements, la défaillance peut se traduire par le glissement des roches, l'affouillement et le débordement des chenaux rectilignes et incurvés. Pour juger de la stabilité de l'ouvrage, il convient de tenir compte de la taille des blocs, de la forme de la section, des conditions d'écoulement et du charriage. Les simulations effectuées à l'aide de SedFlow fournissent des informations sur l'évolution possible du niveau du lit au fil du temps. Elles permettent d'analyser les répercussions du changement climatique en matière de crues et de charriage sur la stabilité des enrochements utilisés pour la protection des berges.

A gauche: les propositions visant à renforcer la multifonctionnalité du paysage dans les régions à problèmes par le biais de mécanismes incitatifs sont encore récentes. HYDROSERV

Au milieu: les risques de crues dans le cours inférieur des rivières peut-il être influencé par des modifications ciblées de l'utilisation du sol dans le cours supérieur? HYDROSERV

A droite: Entlebuch (LU). Ici, l'impact de l'utilisation du sol sur l'hydrologie est plus faible que prévu. HYDROSERV

Le canton de Lucerne estime les dégâts des inondations de 2005 à 345 millions de francs.

Milieu naturel des poissons

Les truites de rivière fraient d'octobre à janvier. La hausse prévue des débits en hiver accentuera les profondeurs d'érosion dans le lit des rivières – un phénomène qui menace les œufs et, par conséquent, la croissance de ces poissons. L'évaluation du risque requiert des connaissances sur la profondeur d'enfouissement des œufs et sur le comportement des poissons en période de frai (début et fin des périodes de frai).

SEDRIVER s'est penché sur cette question. Plusieurs rivières ont ainsi été examinées dans toute la Suisse. Au total, 384 frayères de truites de rivière ont fait l'objet de rapports. Les résultats ont surpris les chercheurs: les truites de rivière enfouissent leurs œufs moins profondément que ne le laissaient supposer les estimations basées sur des études effectuées dans d'autres pays. La profondeur d'enfouissement moyenne mesurée était de 3,8 cm seulement. Les œufs des truites de rivière sont ainsi exposés à des risques bien plus élevés qu'on ne le pensait jusqu'à présent.

La truite de rivière a besoin de rivières proches de l'état naturel, présentant une largeur suffisante et une pente réduite. Au vu des modifications attendues suite au changement climatique, il sera d'autant plus essentiel, à l'avenir, de renaturer en priorité les tronçons fortement artificialisés et d'éviter tout nouvel aménagement. Les enseignements tirés à ce sujet doivent être davantage pris en considération dans la gestion des cours d'eau.

Exemple:

les truites de rivière de la Petite Emme (LU)

D'une longueur de 58 km, cet affluent de la Reuss traverse l'Entlebuch (LU). Après des précipitations abondantes et persistantes, il peut gonfler jusqu'à provoquer des crues dangereuses. La hausse des débits hivernaux laisse présager une augmentation du charriage et des profondeurs d'érosion du lit de la rivière. Si l'on ne parle que de quelques centimètres pour la période 2021-2050, cette évolution se renforcera à compter de 2050, puis, à partir de 2070, les modifications à prévoir sont supérieures à la marge d'incertitude des modèles climatiques.

Il est difficile de juger dans quelle mesure les modifications prévues produisent déjà des effets néfastes sur les poissons. Néanmoins, il semble plausible que la reproduction naturelle des truites de rivière soit menacée. Les chercheurs entrevoient également des évolutions positives, notamment pour les alevins. A partir de 2070, il se pourrait que les débits estivaux soient nettement plus faibles, permettant alors la formation d'habitats en eaux peu profondes, ce qui contribue à développer la diversité des milieux naturels des alevins. Il convient toutefois de relativiser ce résultat, car l'on ne connaît pas, par exemple, les répercussions de la hausse des températures de l'air et de l'eau sur les poissons.

Rétention des crues dans les barrages

Si les fortes précipitations et les crues se multiplient à l'avenir, il sera important d'envisager toutes les possibilités pour retenir les eaux et réguler les débits. Prenons l'exemple des bassins d'accumulation: s'ils contribuent déjà à retenir les crues, leur potentiel de rétention n'est pas complètement exploité. Toute atteinte aux droits d'usage existants (concessions) doit être dédommée. Les besoins identifiés peuvent être intégrés dans le cadre des renégociations des concessions.

Les nouveaux lacs qui se forment suite au recul des glaciers peuvent eux aussi jouer un rôle, dans certaines conditions. Quelques mesures techniques suffisent pour endiguer certains de ces lacs. D'autres, en revanche, requièrent des constructions de plus grande ampleur. La procédure d'autorisation relative à ce genre d'installations peut se révéler fastidieuse et complexe, en particulier quand des impératifs de protection sont en jeu.

Mesures concernant les cours moyens et inférieurs

Les projets d'élargissement et de renaturation du cours des rivières ainsi que de régulation des lacs et des rivières contribuent à limiter le risque de crues. Hormis les lacs de Constance (CH, D) et de Walenstadt (SG), tous les lacs suisses sont régulés. Les critères écologiques, tels que la pêche ou



la protection des berges, jouent un rôle important dans cette régulation.

Dans le cadre des renaturations, les zones agricoles situées à proximité de l'eau sont plus souvent inondées. Elles font office de surfaces de compensation écologique. La Confédération table sur une perte de 2000 hectares de zones agricoles au profit des espaces réservés aux eaux. Après l'application de la loi révisée sur la protection des eaux, 20 000 hectares supplémentaires devraient être exploités de manière extensive.

Cette perte de surfaces est un coup dur pour l'agriculture. Il convient toutefois de relativiser ce phénomène. Entre 1941 et 1944, près de 58 248 hectares ont été améliorés et asséchés. Entre 1983 et 2006, 58 422 hectares supplémentaires de terre agricole ont été urbanisés, selon la statistique de la superficie, soit environ 28 fois la surface agricole susceptible d'être perdue entre 2010 et 2090 pour la revitalisation des cours d'eau sans extensification, conformément à la loi révisée sur la protection des eaux.

Calcul des «services écosystémiques hydrologiques»

La mise en œuvre de modifications ciblées de l'utilisation des sols en amont des rivières peut-elle permettre d'atténuer le risque de crues à l'aval? La population est-elle prête à soutenir financièrement des mesures telles que le reboisement si les propriétaires terriens et les exploitants agricoles sont indemnisés en conséquence?

Le projet HYDROSERV s'est penché sur ces questions au niveau du bassin versant de la Petite Emme (LU). En 2005, des intempéries de grande ampleur avaient causé d'immenses dégâts au niveau du cours inférieur. La question était alors de savoir s'il était possible d'atténuer les crues ou d'en réduire les risques par une gestion ciblée de l'utilisation des sols et, le cas échéant, quelles étaient les méthodes applicables pour y parvenir. Les chercheurs ont couplé les modèles hydrologiques et d'utilisation des sols aux résultats d'une enquête portant sur la disposition de la population à payer pour les modifications relevant de l'utilisation des sols. Dans cette enquête, les habitant(e)s se sont prononcés sur des scénarios de projection dans l'avenir. Ils se sont dits disposés à payer pour les mesures suivantes:

- ▶ la hausse de 20% de la couverture forestière: cette mesure est celle pour laquelle la population est la plus encline à payer, mais elle est difficile à mettre en œuvre dans le contexte politique actuel. De plus, une hausse de 20% de la couverture forestière en amont réduit à peine les débits de pointe de la Petite Emme (LU);
- ▶ le contrôle de l'expansion urbaine afin de réduire les dangers liés aux crues ou de ne pas les accroître;
- ▶ l'élargissement des espaces dévolus à la Petite Emme (LU) afin de maîtriser les pics de crues.

HYDROSERV a conclu que les modifications profondes de l'utilisation des sols rencontraient

A gauche: essais de charriage en laboratoire. SEDRIVER

Au milieu: les problèmes liés aux fortes précipitations, aux crues et au charriage devraient s'accroître au cours des prochaines décennies. Photo Felix Naef

A droite: conception de cartes de charriage à partir de mesures. SEDRIVER

actuellement un écho peu favorable auprès de la population. De plus, les répercussions de telles modifications sur l'apparition des crues sont faibles dans une région comme celle de l'Entlebuch (LU).

Afin de renforcer la multifonctionnalité du paysage, il est nécessaire d'accroître la collaboration entre l'aménagement du territoire, la sylviculture, l'agriculture et la protection contre les crues. Il n'est pas certain que le développement puisse être assuré par des incitations financières. Les points de vue personnels et les conditions géomorphologiques influent également sur les décisions relatives à l'affectation des sols.

Les tâches des cantons

Les problèmes liés aux fortes précipitations, aux crues et au charriage devraient s'aggraver au cours des prochaines décennies. Il est essentiel de pouvoir s'appuyer sur des bases solides. A cet égard, le PNR 61 met à disposition des méthodes et des modèles qui peuvent être utilisés pour l'évaluation des risques et des systèmes d'alerte précoce.

Les prévisions concernant l'apparition de crues dans les bassins versants alpins sont de bien meilleure qualité qu'il y a cinq ans. A l'avenir, les bassins d'accumulation situés en haute montagne seront de plus en plus amenés à absorber les pics de crues. Il convient de réduire le potentiel de risques en premier lieu par des mesures d'aménagement du territoire (restrictions d'usage).

Points restant à traiter

Afin d'améliorer l'évaluation des risques, il est nécessaire de réaliser davantage de mesures et d'observations relatives au charriage dans les chenaux naturels, notamment dans les cours d'eau de montagne. L'apport de sédiments provenant d'affluents à forte déclivité dans les chenaux principaux reste par ailleurs difficile à évaluer.

L'influence de la hausse des températures due au changement climatique sur les conditions de vie et la chaîne alimentaire des poissons est encore peu connue. Une meilleure compréhension des modifications concernant les sédiments fins est requise.

Les propositions visant à renforcer la multifonctionnalité du paysage dans les régions à problèmes par le biais de mécanismes incitatifs sont encore récentes. Une recherche fondamentale, d'autres projets pilotes et un dialogue avec les acteurs de terrain s'imposent.

Recommandations

Les réservoirs souterrains peuvent créer des crues de façon lente, qui prendront néanmoins de l'ampleur en cas de précipitations très abondantes. Les cantons ainsi que les chercheurs devraient examiner l'importance de ce phénomène afin d'améliorer les prévisions des crues.

Il est nécessaire de réaliser d'autres recherches et études scientifiques concernant les modifications liées au changement climatique – charriage, température de l'eau – et leurs répercussions sur les poissons et la protection contre les crues.

L'avenir des ressources en eau

La Suisse dispose et disposera à l'avenir de volumes d'eau suffisants. Il se peut toutefois que des difficultés se fassent jour selon les périodes et les régions. Les méthodes développées dans le cadre du PNR 61 permettent aux cantons d'améliorer leurs connaissances sur les systèmes d'eau souterraine dans le karst. Ces ressources de grande valeur sont encore souvent inexploitées.

L'intérêt du bilan hydrologique

L'eau est considérée comme ressource lorsqu'elle est disponible naturellement, dans un espace défini et sur une période déterminée. A cet égard, la Suisse dispose d'une situation privilégiée. Outre des précipitations régulières, le pays bénéficie aujourd'hui d'immenses réserves en eau formées par les glaciers, les lacs et l'eau souterraine. Avec une moyenne de 1460 mm, les précipitations annuelles dans les Alpes sont deux fois plus élevées que dans le reste de l'Europe.

La situation privilégiée de notre pays évoluera peu malgré le changement climatique et la fonte des glaciers. Cependant, la répartition de l'eau est inégale d'un point de vue régional et temporel. Certaines régions peuvent même connaître des pénuries d'eau. Et si l'eau venait à manquer dans les pays limitrophes ou les régions avoisinantes,

la pression sur les ressources en eau de la Suisse pourrait s'accroître. La Lombardie (I) ainsi que les régions situées le long du Rhin (D, NL, F) et du Rhône (F) comportent des zones de concentration industrielle. L'eau peut alors remplir une fonction diplomatique.

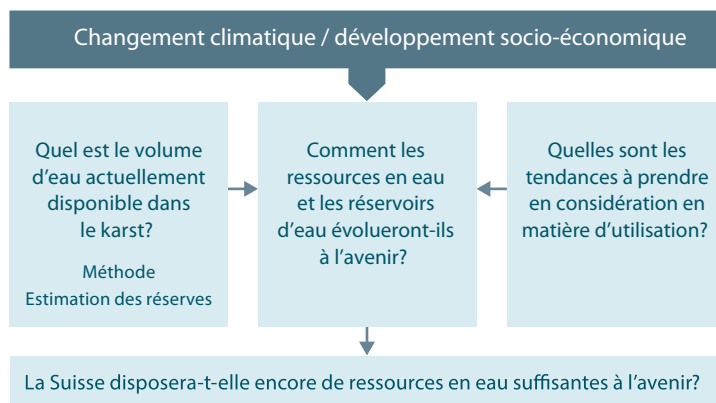
Les questions suivantes méritent que l'on s'y intéresse: quel est le volume d'eau dont dispose la Suisse? Quel est le volume d'eau utilisé par la Suisse elle-même? Les réserves en eau sont-elles suffisantes, y compris pour l'avenir? Existe-t-il des ressources en eau dissimulées qui n'auraient pas encore été mesurées? Quels sont les besoins des pays limitrophes?

Aspects étudiés par le PNR 61

Il existe déjà des chiffres précis concernant le bilan hydrologique de la Suisse. Les résultats du PNR 61 permettent de compléter ce tableau. En outre, le programme a permis de réaliser des avancées notables en matière de méthodologie, notamment en ce qui concerne les mesures d'eau souterraine dans les régions karstiques. Grâce au projet SWISSKARST, la Suisse dispose aujourd'hui d'une image plus précise des systèmes d'eau karstiques. Les réserves en eau sont considérables le karst constituant 20% de la surface suisse.

Le projet GW-TREND a amélioré de façon décisive les connaissances sur les modifications dues

La Suisse dispose d'un volume d'eau de 5100 m³ par personne et par an. Cela correspond à 52 baignoires pleines par jour, dont une petite partie seulement est utilisée.



III. 8: les ressources en eau à l'avenir – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.

au changement climatique à prévoir dans le domaine des eaux souterraines. Mais le PNR 61 n'avait pas pour but de dresser un bilan national. Par ailleurs, deux des quatre synthèses thématiques (ST) du PNR 61 traitent des ressources hydriques de la Suisse. Elles offrent un aperçu des ressources en eau disponibles et de leur utilisation (ST 1), ainsi que de la gestion des ressources en eau face à la pression accrue de son exploitation (ST 2). Elles se basent sur les résultats des projets, mais contiennent également les résultats d'enquêtes menées sous la responsabilité des services compétents en matière d'eau.

Où l'eau est-elle stockée?

L'eau tombe sous forme de précipitations. Elle est stockée sous forme de glaciers, de neige, d'eau de surface, d'eau souterraine, ou encore de lacs artificiels ou naturels. Les 363 km³ d'eau stockés en Suisse correspondent au volume de précipitations qui tombe en six ans. Le taux de renouvellement annuel de cette eau s'élève à 11%.

La question des eaux souterraines doit être abordée de manière nuancée. Sur un volume total de 150 km³, seuls 10% environ peuvent être utilisés durablement. Il s'agit, par exemple, de sources ou d'aquifères longeant les rivières. Au total, 36% de ces réserves utilisables sont exploités. En outre, 53 km³ d'eau s'écoulent chaque année dans les rivières.

Y aura-t-il suffisamment d'eau à l'avenir?

Si l'on considère la Suisse dans son ensemble, l'approvisionnement en eau est garanti. Cependant, ce constat n'exclut pas que des pénuries d'eau saisonnières puissent apparaître, voire apparaissent déjà dans certaines régions.

D'ici à 2100, 90% du volume de glace existant aujourd'hui aura disparu, tandis que la limite des chutes de neige s'élève. Ainsi, la part d'eau stockée sous forme de neige et de glace, qui constitue une importante réserve, diminue considérablement. Toutefois, le bilan hydrologique annuel n'en est que légèrement modifié. En effet, au lieu d'être disponible sous forme glacée, l'eau est disponible à l'état liquide. Elle est alors stockée

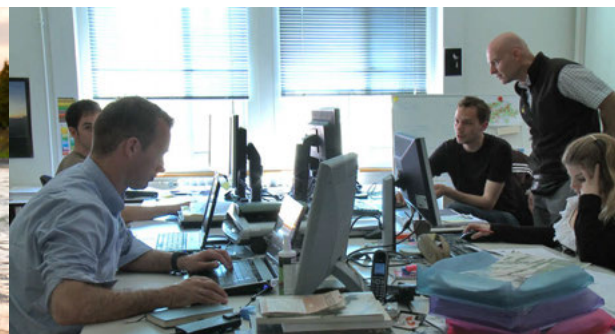
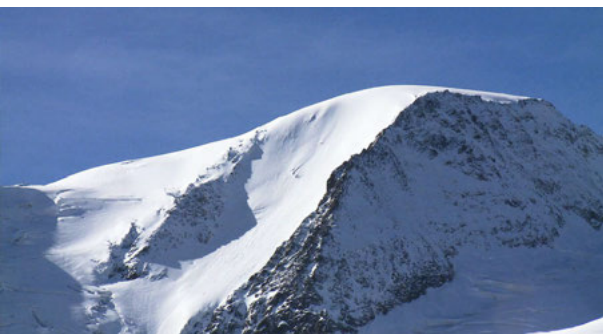
moins longtemps et s'écoule plus rapidement après les précipitations.

Il se peut que le changement climatique modifie également le régime des précipitations. On attend moins de précipitations en été et davantage en hiver. Cette évolution se répercutera probablement sur le bilan hydrologique saisonnier. Certaines régions pourront connaître une sécheresse estivale et des étiages dans les cours d'eau. Les modifications auront tendance à être plus importantes dans les rivières dont le débit a une part plus élevée d'eau provenant des glaciers ou de la fonte des neiges que dans les cours d'eau du Plateau.

Les eaux souterraines se forment à partir des précipitations et de l'eau de rivière qui s'infiltrate dans le sous-sol. Elles fournissent environ 80% de notre eau potable. Par ailleurs, elles assurent aux rivières un débit minimal pendant les périodes de sécheresse. Les modélisations montrent que, dans un avenir lointain, les débits de l'eau souterraine pourraient légèrement diminuer si le changement climatique poursuit sa progression. Mais cette situation ne modifie en rien le fait que la Suisse continuera à disposer d'un volume d'eau souterraine considérable, en comparaison avec d'autres pays.

Les eaux karstiques, une composante essentielle

Les eaux karstiques sont l'une des composantes des réserves en eau souterraine. Le karst représente environ 20% de la surface suisse. Jusqu'à présent, environ 200 sources karstiques majeures ont été documentées. Les eaux karstiques représentent environ 50% des eaux souterraines suisses. Jusqu'ici, elle n'ont fait l'objet que de peu d'attention dans les bilans hydrologiques et les études régionales. Le potentiel de ces réserves hydriques pour l'approvisionnement en eau ainsi que leur contribution à la formation de crues n'ont guère été pris en considération. Le projet SWISSKARST a permis de combler ces lacunes et les cartes hydrologiques ont été révisées. Tout cela contribue à améliorer les modèles hydrologiques, en particulier la délimitation des bassins versants et le calcul des bilans hydrologiques régionaux.



Ces recherches ont permis de réaliser que les eaux karstiques devaient être exploitées plus efficacement, ce qui pourrait s'avérer également bénéfique pour l'économie des eaux. La qualité de ces eaux est suffisante pour couvrir de nombreux besoins; si elles sont captées correctement, elles peuvent également être utilisées comme eau potable. La plupart du temps, ces réserves en eau sont abondantes et ne s'assèchent que rarement. En fonction des besoins, il est également possible d'exploiter des sources d'eaux karstiques plus importantes dans le cadre de l'énergie hydraulique. Le potentiel, qui a fait l'objet d'une étude dans le canton de Vaud, a été estimé à 40 GWh/an. Par comparaison avec les centrales au fil de l'eau (dont le potentiel a par exemple été estimé, sur l'Aar, entre Bienne et Aarau, à 200 GWh/an), il s'agit d'une valeur modeste, intéressante au plan local uniquement.

Mesure des réserves

Grâce au projet SWISSKARST, il est désormais possible d'adopter une approche systématique pour recenser et représenter les réserves en eaux karstiques (KARSYS). Cette approche combine des modèles géologiques et hydrauliques. La première étape consiste à réaliser une représentation géologique 3D des aquifères. Celle-ci illustre la situation des réserves d'eau souterraine, le sens de l'écoulement souterrain ou les zones d'où provient l'eau souterraine, ce qui permet d'expliquer le fonctionnement hydrogéolo-

gique. Les connaissances ainsi acquises servent alors à évaluer les réserves en eaux karstiques. La demande relative à ces connaissances est importante, surtout de la part des pays possédant d'importantes régions karstiques, comme la France, l'Irlande, la Slovaquie ou l'Espagne. Plusieurs cantons ont déjà documenté leurs réserves en eaux karstiques avec KARSYS. Les grands cantons alpins – Grisons et Valais – s'y attendent eux aussi. D'ici à 2018, l'ensemble du territoire suisse devrait être cartographié. Grâce aux données collectées, il est possible de prendre des mesures visant à protéger ces réserves en eau et d'évaluer le potentiel d'utilisation ainsi que les risques. Certaines ont déjà pu être mises en application dans les domaines suivants: approvisionnement en eau (BE, VS), risque lié aux crues (JU), utilisation de l'énergie hydraulique (VD), géothermie et décharges contrôlées (FR, GR, NE et SG). SWISSKARST constitue une première étape importante. Le développement d'un progiciel convivial destiné à l'application de KARSYS et pouvant être utilisé de manière autonome, y compris à l'étranger, requiert des investissements et une approche commerciale. Dès lors, les chercheurs passent le flambeau aux acteurs de l'économie.

A gauche: la neige et les glaciers stockeront moins d'eau à l'avenir. Les températures moyennes augmenteront et la limite des neiges sera plus élevée. NELAK

Au milieu: dans le futur, la Suisse demeurera un pays riche en eau – en comparaison européenne. Photo Andreas Zimmermann

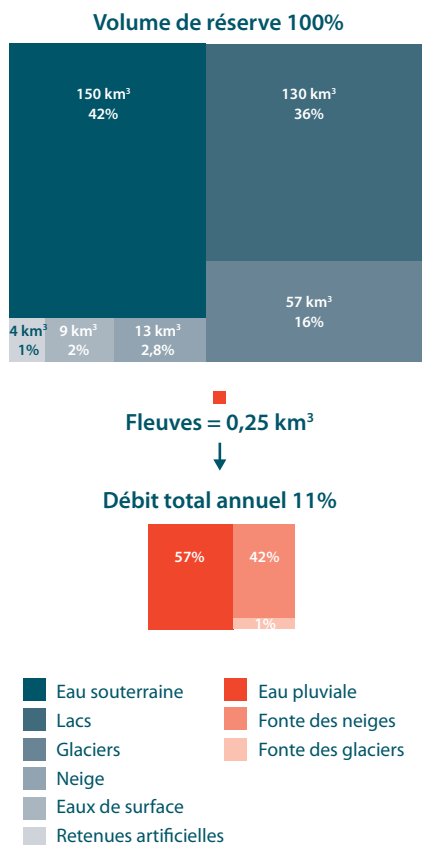
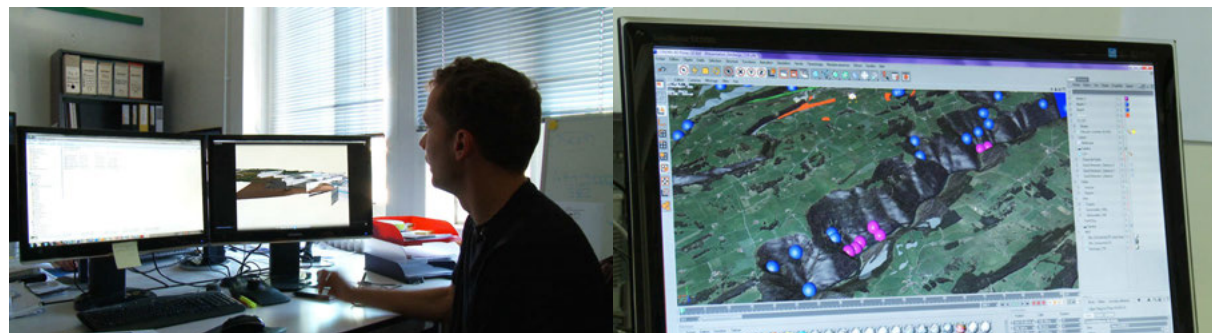
A droite: le projet SWISSKARST fournit de nouvelles méthodes pour la description des systèmes d'eaux karstiques. Il soutient plusieurs projets en Suisse et à l'étranger. SWISSKARST

«Les administrations accordaient jusqu'à présent trop peu d'importance à la situation du karst. Notre projet a pu les convaincre de la nécessité de revoir les cartes du réseau hydrique.»

Pierre-Yves Jeannin, SWISSKARST.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Au milieu: SWISSKARST a élaboré des méthodes permettant une meilleure compréhension des interactions en jeu dans les systèmes d'eaux karstiques. SWISSKARST
A droite: grâce à KARSYS, différentes régions disposent aujourd'hui de bases récentes et précises. SWISSKARST



Exemple: crue soudaine à Porrentruy (JU)

L'eau des systèmes karstiques peut entraîner, de manière totalement imprévisible, des crues et des inondations de grande ampleur. Ces phénomènes ont été examinés dans le cadre du PNR 61, sur la base d'exemples provenant de l'Ajoie. La source karstique du centre-ville de Porrentruy présente un rendement normal de 800 litres par seconde. En cas de crue, l'écoulement s'élève soudain à 3000 litres par seconde. Les sources situées à de plus hautes altitudes sont encore plus imprévisibles. Bien qu'elles ne fournissent de l'eau que de façon temporaire, elles font partie du même système d'eaux karstiques. En cas de crue, un volume d'eau plus important émerge donc de ces sources. En cas de précipitations extrêmes, des inondations se produisent dans les régions basses. Ces événements prennent davantage d'ampleur avec le changement climatique.

SWISSKARST a élaboré des bases et des méthodes permettant de mieux comprendre les interactions existant dans ce vaste système d'eaux karstiques. Les zones menacées ont été cartographiées. Grâce à KARSYS, la région d'Ajoie dispose désormais de bonnes bases pour la protection contre les crues.

Changement climatique et eaux karstiques

Outre la problématique des crues, SWISSKARST a également étudié les impacts possibles du changement climatique sur la disponibilité des eaux

karstiques. Les conditions régionales et hydro-météorologiques jouent un rôle non négligeable dans la survenue des différents effets. Les modifications les plus importantes sont à prévoir dans les systèmes d'eaux karstiques exclusivement alimentés par les précipitations et situés dans les zones dépourvues de glaciers ou dans celles où la neige est peu abondante. Ces conditions sont caractéristiques des zones basses du Jura. Selon la situation, les sources karstiques sont les dernières à se tarir en cas de sécheresse. Dans certaines régions, elles peuvent ainsi jouer un rôle pour l'approvisionnement en eau pendant les périodes sèches, qui devraient se multiplier avec le changement climatique. De meilleures connaissances sur les systèmes d'eaux karstiques permettront d'évaluer ce potentiel.

Protection et utilisation de ces réserves en eau

Les résultats des études réalisées jusqu'à présent avec KARSYS suggèrent aux administrations de revoir les zones de protection des eaux souterraines en de nombreux endroits. Ils démontrent également que les systèmes d'eaux karstiques sont complexes et souvent très vastes, raison pour laquelle les avantages et les inconvénients des mesures applicables doivent être analysés au niveau régional. Les modèles de KARSYS permettent justement de soumettre des propositions en la matière et de renforcer la compréhension entre les parties concernées afin de parvenir à des solutions.



L'utilisation des eaux karstiques requiert des connaissances spécifiques. Pour les pompes, par exemple, il est difficile de trouver un point approprié dans le labyrinthe du système des eaux karstiques. En outre, la qualité de l'eau n'est plus garantie, car les apports de polluants se répandent rapidement dans les aquifères aux nombreuses ramifications. C'est justement là que KARSYS fait ses preuves. Les mesures de protection et les interventions en matière de gestion doivent être orientées davantage en fonction

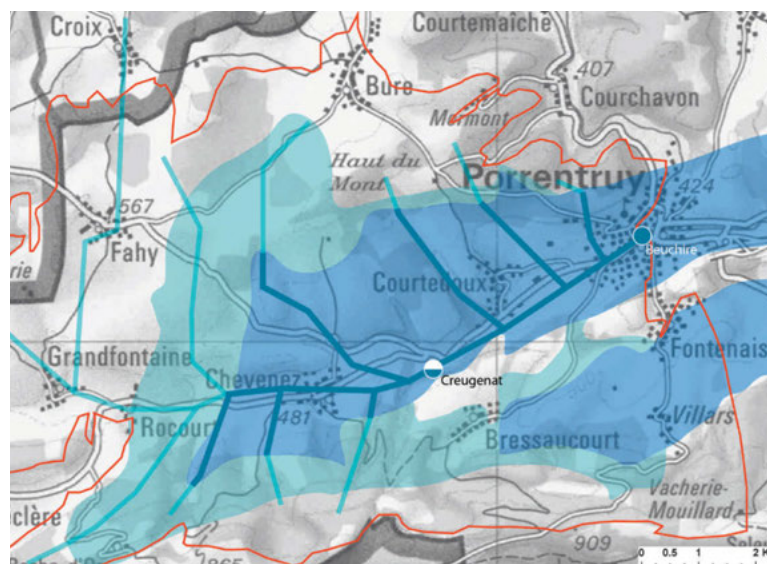
des bases physiques, c'est-à-dire des systèmes d'eaux karstiques.

Comment la Suisse utilise-t-elle ses réserves en eau?

Dans les synthèses thématiques 1 et 2, les chiffres concernant les réserves en eau disponibles et utilisables sont comparés avec les données relatives à l'utilisation de l'eau. Ce travail permet de dresser un premier bilan national et met en lumière l'importance des différents groupes d'utilisa-

A gauche et au milieu: en 1910, la ville de Porrentruy a été inondée en raison de débits de pointe extrêmes dans l'eau karstique. Photo archives de la Bourgeoisie de Porrentruy

A droite: les sources d'eaux karstiques peuvent réagir de manière soudaine. SWISSKARST



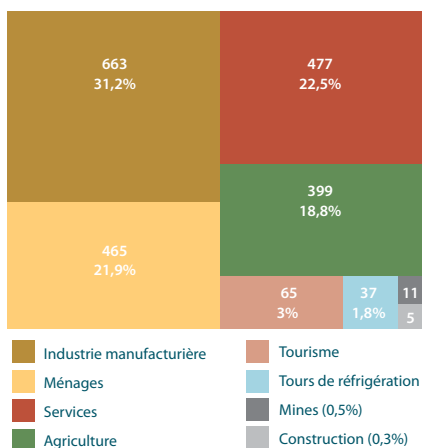
III. 10: probabilité de détecter des eaux souterraines dans des forages effectués dans le système karstique de la source Beucherie, dans la région de Porrentruy (JU). Exemple d'un produit standard issu de KARSYS. SWISSKARST

- Source permanente
- Source temporaire
- Bassin d'alimentation
- Proximité axe de drainage (zone non saturée)
- Proximité axe de drainage (zone saturée)
- Zone saturée: probabilité forte
- Zone de battement: probabilité modeste
- Zone non saturée: probabilité nulle

KARSYS fournit des réponses à des questions concrètes: où se situent les nappes d'eau souterraine dans les régions karstiques? D'où provient l'eau d'une source karstique? Comment l'eau s'infiltre-t-elle dans le sous-sol? Existe-t-il un potentiel pour l'approvisionnement en eau ou la production d'électricité?

Pour disposer d'encore plus de chiffres et de références, consultez les synthèses thématiques 1 et 2 du PNR 61.

Consommation d'eau
(par secteur en mio m³/a)
2122 mio m³/a = 100%



III. 11: consommation d'eau en 2013 en Suisse, en millions de m³ d'eau. Synthèse thématique ST 1

teurs. La Commission suisse d'hydrologie (CHy) a également établi un bilan similaire en 2013.

Au total, quelque 2 220 000 m³ sont utilisés aujourd'hui. Ce volume représente environ 3,7% des précipitations et 5,4% de l'eau renouvelable. L'eau destinée à la faune et à la flore, à la sécurité des écosystèmes aquatiques et à la production énergétique n'est pas comprise dans ces analyses. En fin de compte, 72% de cette eau sont uniquement utilisés comme apport, par exemple pour la production énergétique ou le refroidissement. La plupart du temps, cette eau est de nouveau disponible après utilisation.

L'agriculture absorbe d'importants volumes d'eau. Aujourd'hui, dans l'agriculture, l'eau est principalement consommée par les bornes-fontaines et les abreuvoirs privés à écoulement libre, et non pas par l'irrigation. Ainsi, plus de 200 millions de mètres cubes d'eau de source s'écoulent chaque année, la plupart du temps sans être utilisés. Mais, même en Suisse, les conditions pourraient évoluer rapidement en raison du prolongement prévu des périodes de sécheresse estivales (changement climatique). L'intensification de l'irrigation pourrait ainsi vite devenir un thème d'actualité.

Pression due aux prélèvements d'eau

La répartition de la demande dans le temps est tout aussi importante que le volume prélevé. Les techniques économes en eau recèlent par ailleurs un énorme potentiel. Malgré l'augmentation de la population, la consommation d'eau des ménages, notamment, a diminué au cours des dernières décennies. Cela peut s'expliquer par la propagation d'appareils électroménagers à faible consommation d'eau. Dans l'industrie également, les technologies à faible consommation d'eau revêtent de plus en plus d'importance.

Les eaux souterraines constituent aujourd'hui encore une grande réserve. Parmi les réserves d'eau souterraine disponibles, 12% sont renouvelables et seulement 2,4% sont utilisables de manière durable. Le reste ne peut pas être exploité d'un point de vue économique.

Aujourd'hui, environ 0,9% de l'eau souterraine est utilisée. La pression ira croissant à l'avenir.

Pression due aux changements d'utilisation du sol

La pression exercée sur l'eau et les cours d'eau n'est pas uniquement due au prélèvement de l'eau. Elle s'exprime également par le biais des apports de substances et de chaleur dans les cours d'eau, de la détérioration physique des milieux naturels aquatiques ou de nouvelles sollicitations des surfaces dues à la modification de l'utilisation du sol.

Le PNR 61 s'est penché sur ces problèmes. Différents projets ont ainsi étudié l'influence des changements d'utilisation du sol sur le régime des eaux. Tous ont abouti à la conclusion que ces modifications, du moins sur le Plateau, dans le Jura et les Préalpes, ont des répercussions plus importantes que le changement climatique. L'augmentation de l'utilisation intensive des surfaces sur les aquifères abondants en constitue un parfait exemple. Elle représente, la plupart du temps, un problème plus important que les prélèvements d'eau pour la durabilité des réserves en eau souterraine. Les plaines deviennent des zones industrielles et commerciales et sont également convoitées par l'agriculture.

Les projets HYDROSERV et AGWAM ont permis d'élaborer des modèles et de calculer des scénarios jusqu'à 2050. En l'occurrence, il n'est pas uniquement question du développement urbain: les décisions des agriculteurs ainsi que des propriétaires de terrains hors zone à bâtir, par exemple les propriétaires forestiers et exploitants agricoles, exercent également une influence sur la sécurité des ressources en eau.

Les réserves en eau seront-elles également suffisantes à l'avenir?

A l'échelle nationale, la Suisse dispose de ressources en eau suffisantes, y compris pour l'avenir. Il se peut toutefois que des pénuries surviennent selon les régions et les périodes, notamment du fait des changements climatiques. Cependant, les conditions-cadres socio-économiques, l'évolution de l'utilisation du sol et les mesures



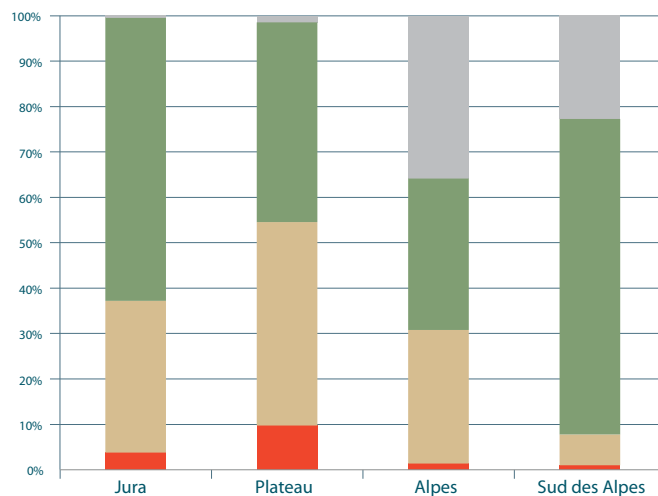
prises dans le domaine agricole jouent un rôle beaucoup plus conséquent. Les mesures économiques et d'aménagement du territoire de nature à protéger les réserves en eau et à réduire

la consommation d'eau gagnent en importance. Mais il existe aussi des mesures techniques pour réduire la consommation d'eau.

A gauche: source karstique en arrière-plan. Certaines de ces sources sont les dernières à se tarir par temps de sécheresse. SWISSKARST

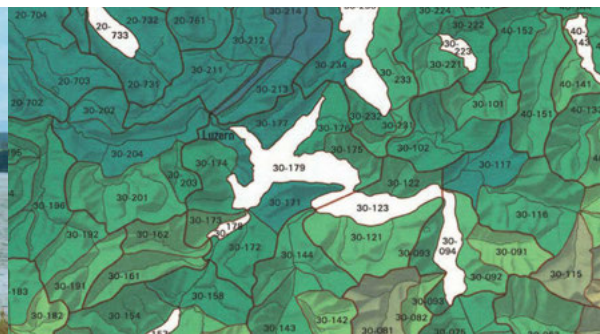
Au milieu: la pression d'utilisation sur les aquifères s'accroît tandis que la marge de manœuvre de l'approvisionnement en eau se réduit. SWIP

A droite: la plus grande consommation d'eau dans l'agriculture est aujourd'hui encore due aux abreuvoirs. Une situation qui changera à l'avenir. SWIP



III. 12: utilisation du sol (2011) sur des aquifères. Synthèse thématique ST 2

- Surfaces non productives
- Surfaces boisées
- Surfaces agricoles
- Surfaces urbaines



A gauche: si l'on considère la Suisse dans son ensemble, on peut affirmer qu'elle disposera, à l'avenir également, de ressources en eau suffisantes. IWAQUA

Au milieu: là où l'eau se fait rare, la gestion des eaux doit s'orienter davantage vers les bassins versants.

Extrait de l'atlas hydrologique de la Suisse, OFEV.

A droite: la participation des différents acteurs est essentielle. Photo Emmanuel Rey

Points restant à traiter

Il convient de procéder à un examen plus approfondi du cheminement des pollutions et des facteurs qui influent sur la qualité des eaux: turbidité, propriétés bactériologiques et chimiques. Au niveau national, la sécurité de l'eau est assurée. Mais il existe encore peu d'études sur les pénuries d'eau au niveau régional.

Recommandations

La gestion des eaux doit être davantage axée sur les bassins versants dans les zones où l'eau se fait rare. Elle doit également intégrer les composantes de l'eau souterraine. Le modèle KARSYS offre une bonne approche pour les eaux karstiques.

Des études régionales ainsi qu'un suivi sont nécessaires afin d'identifier suffisamment tôt les situations dans lesquelles il existe un risque de surexploitation des réserves en eau. A cet effet, la participation des acteurs et des personnes intéressées est essentielle.

Le dialogue international et diplomatique concernant les réserves en eau de la Suisse demeurent importants.

Exemples de produits standard de KARSYS: cartes hydrogéologiques, modèles 3D interactifs et bibliographies.

L'appellation «château d'eau de l'Europe» faisait initialement référence aux Alpes suisses. Lors de l'exposition nationale de 1939, le massif du Saint Gothard était ainsi mis à l'honneur.

Sécheresse estivale et étiage

Les étés chauds et secs caractérisés par de faibles précipitations pourraient se multiplier à l'avenir. Les systèmes possédant de grandes réserves d'eau (eaux de surface, eaux souterraines) ne réagissent que lentement et avec retard aux faibles précipitations. La sécheresse du sol et les étiages évoluent sur plusieurs semaines et plusieurs mois. Grâce au PNR 61, la Suisse dispose désormais d'instruments de détection précoce des épisodes de sécheresse.

De quoi est-il question?

Les scénarios climatiques montrent que les périodes de canicule caractérisées par de faibles précipitations pourraient se multiplier à l'avenir. L'été, les volumes moyens de précipitations devraient diminuer partout en Suisse, en particulier dans le Sud et le Nord-Ouest (de 30 à 50%). L'eau de surface disponible diminue. Les phénomènes d'étiage dans les rivières, les ruisseaux et les canaux d'irrigation risquent de se multiplier en maints endroits.

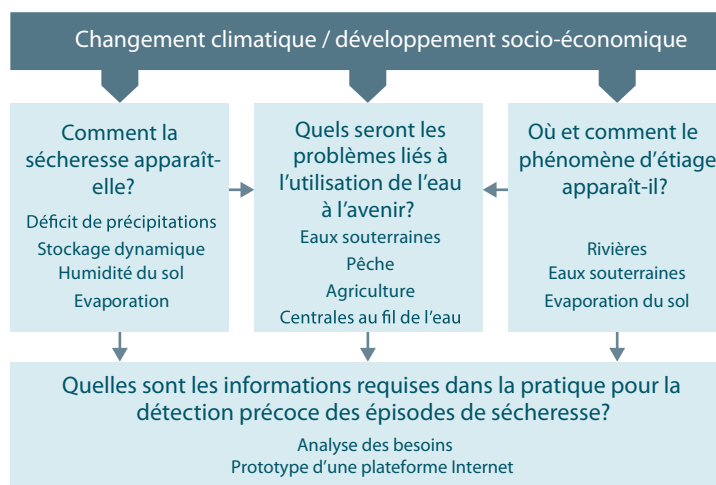
A cet égard, la sécheresse doit être considérée de manière relative. L'eau est insuffisante au re-

gard des utilisations ou besoins définis. Si la Suisse reste privilégiée par rapport aux régions du Sud de l'Europe, des épisodes de sécheresse apparaîtront de plus en plus souvent. Certaines régions devront faire face à des déficits d'eau périodiques. Outre la navigation, l'agriculture et la protection de la nature, l'approvisionnement en eau, les centrales électriques ou la protection des cours d'eau sont également concernés par ces changements. Etant donné que la sécheresse peut accroître l'intensité des vagues de chaleur, elle a également des répercussions sur la santé des personnes.

Aspects étudiés par le PNR 61

Les projets du PNR 61 relatifs à la sécheresse et aux étiages se concentrent sciemment sur les bassins versants des Préalpes et du Plateau, zones dans lesquelles l'influence de la fonte des glaciers peut être exclue. Les eaux souterraines et l'humidité du sol constituent des réserves d'eau essentielles pour l'équilibre hydrique du paysage. Le projet GW-TREND a analysé les processus complexes à l'origine de l'étiage dans les cours d'eau et les eaux souterraines.

Le projet DROUGHT-CH s'est essentiellement penché sur des questions d'ordre général: quels



III. 13: sécheresse estivale et étiage – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.

«Le vaste éventail des points de vue et des besoins en lien avec la sécheresse nous ont tous surpris.»

*Manfred Stähli, WSL, DROUGHT-CH.
Visionner le DVD pour en savoir plus.*

sont les indicateurs de sécheresse appropriés? Quelles sont les valeurs seuils critiques? Dans quelle mesure les bassins versants réagissent-ils au déficit de précipitations? Où et comment la sécheresse conduit-elle au phénomène d'étiage? Quels sont les besoins de l'économie en matière de systèmes de détection précoce des épisodes de sécheresse? Quels sont les avantages économiques de la détection précoce? Ce projet a permis de mieux comprendre et d'évaluer les risques liés aux changements prévus. Le rôle de l'évaporation et de l'humidité du sol dans le régime des eaux ainsi que l'apparition de phases de sécheresse caractérisées par le phénomène d'étiage ont été quantifiés sur de larges zones. Les prévisions peuvent désormais s'appuyer sur des bases solides.

De quoi ont besoin les services compétents?

Les spécialistes ont défini des indicateurs de sécheresse pertinents sous l'angle de la pratique. En ce sens, DROUGHT-CH a effectué une enquête écrite auprès des services cantonaux compétents. Il en est ressorti que les besoins des acteurs de terrain étaient multiples. Ainsi, l'agriculture et la sylviculture requièrent des informations concernant l'humidité du sol et l'évaporation. Par ailleurs, la température de l'eau est un critère décisif quant à la teneur en oxygène de celle-ci. Elle permet d'expliquer les répercussions sur la faune aquatique, notamment les poissons. Autre problème lié à la sécheresse: le risque de

feu de forêt. A cet effet, il est nécessaire de disposer d'informations sur le vent et l'humidité de la litière. L'évaluation d'une période de sécheresse se base sur la comparaison entre des données concernant la situation actuelle et des valeurs moyennes obtenues sur plusieurs années. En outre, les acteurs de terrain ont des besoins divers en ce qui concerne la résolution spatiale des données.

Progrès de la recherche fondamentale

DROUGHT-CH a permis de renforcer les connaissances sur le rôle des conditions initiales pour la prévision des périodes de sécheresse. Il a également été démontré que l'humidité du sol, l'évaporation, les eaux souterraines ou la neige étaient des facteurs-clés. Ils déterminent l'intensité de la réaction des bassins versants sur de longues périodes caractérisées par de faibles précipitations. Mais le projet montre aussi qu'il reste difficile de réaliser des prévisions exactes:

- ▶ les processus se déroulant dans l'atmosphère, le sol, le sous-sol et la végétation font l'objet d'interactions complexes;
- ▶ la sensibilité d'une région à la sécheresse dépend de plusieurs facteurs: propriété de stockage des sols, utilisation du sol et intensité de l'utilisation des eaux.

Les longues séries chronologiques relevant de la zone de recherche de Rietholzbach (SG), l'une des zones les mieux analysées d'Europe, ont permis de grandes avancées. Les résultats des

Tab. 4: comment la sécheresse est-elle mesurée dans la pratique? DROUGHT-CH

Thème	Indicateurs
Sol	Humidité du sol, humidité de la litière
Cours d'eau	Débit dans les rivières, niveau de la nappe d'eau souterraine, niveau de l'eau dans les cours d'eau, température de l'eau
Climat	Evaporation, humidité de l'air, température de l'air, volume de précipitations, vitesse du vent
Neige	Hauteur de neige, quantité de neige, volume d'eau de fonte



recherches indiquent clairement que, dans cette zone, l'évaporation accrue a constitué un facteur décisif dans le développement de la période de sécheresse de 2003. Il convient de poursuivre la recherche fondamentale et d'acquérir de meilleures données sur le plan régional avant de pouvoir effectuer des prévisions plus précises, en particulier sur le mode de développement de l'humidité du sol lors des périodes de faibles précipitations.

Stockage dynamique dans les bassins versants

Les prévisions relatives aux débits des ruisseaux des hautes Alpes et des grands bassins versants en aval des lacs du Plateau sont assez précises. Il est possible de prévoir l'évolution des niveaux d'eau pendant les périodes de sécheresse ainsi que les dates auxquelles les étiages surviendront. Grâce à DROUGHT-CH, on dispose désormais également de meilleures prévisions pour les rivières dont le débit varie fortement. A cet effet, les chercheurs ont testé différents modèles de prévision concernant l'humidité du sol et les débits. Les analyses intégrant des isotopes ont montré que la capacité de stockage des bassins versants variait fortement. Au total, 24 zones ont fait l'objet de modélisations. Les chercheurs ont analysé plus de 1200 échantillons concernant les précipitations, le débit et les eaux souterraines. La capacité de stockage dynamique peut déterminer si les bassins versants s'assècheront et si le phénomène d'étiage se manifestera dans les

cours d'eau. En l'occurrence, l'eau de surface constitue un facteur essentiel. Pour pouvoir réaliser de meilleures prévisions sur les débits, il est impératif de disposer de données à résolution élevée sur les précipitations. Par ailleurs, il est nécessaire d'obtenir des informations régionales sur la répartition de l'eau dans les différentes réserves, telles que la neige et le sol.

Exemple: niveau des eaux du Rhin à Bâle

Le niveau des eaux, important pour la navigation, est facile à prévoir. Durant les années normales, le Rhin, à Bâle, charrie 9% d'eau provenant de la fonte des glaciers. Pendant la canicule de l'été 2003, cette part est montée à 23%. Cette proportion est sensiblement inférieure à celle du Rhône, qui possède un bassin versant comportant d'importants glaciers. En effet, s'agissant du Rhône à Chancy (GE), les modèles ont calculé une part de 75% d'eau de fonte des glaciers dans le débit pendant la canicule de l'été 2003. DROUGHT-CH a analysé, sur la base de prévisions à long terme, comment le niveau des eaux pourrait réagir aux changements climatiques. Pendant les décennies caractérisées par la fonte des glaciers, les modifications du Rhin à Bâle seront relativement modérées. En hiver, le niveau des eaux augmentera légèrement par rapport à aujourd'hui. En revanche, le phénomène d'étiage se manifestera plus rapidement en été et à l'automne. En 2085, une grande partie des glaciers aura fondu et l'eau provenant de la fonte fera

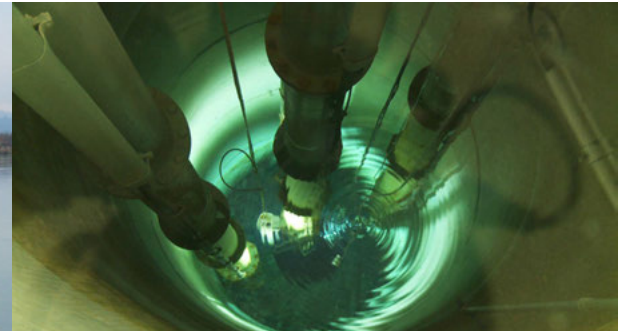
A gauche: l'humidité des sols et l'évaporation sont des variables importantes pour l'accumulation dynamique. Elles sont mesurées avec un lysimètre. A cet égard, le Rietholzbach est l'une des zones les mieux analysées d'Europe. DROUGHT-CH

Au milieu: la sécheresse a des conséquences sur de nombreux secteurs économiques. Les ateliers ont permis aux acteurs d'échanger sur leurs besoins. Photo Sabine Rock

A droite: à partir de 2050, les niveaux des cours d'eau seront de plus en plus bas en été. Les fluctuations s'intensifieront. DROUGHT-CH

«Le PNR 61 a démontré qu'en Suisse, un groupe important de chercheurs se penche sur les questions liées à la sécheresse.»

Sonia Seneviratne, DROUGHT-CH, EPF de Zurich



A gauche: petite Emme (LU): le PNR 61 montre le système formé par l'eau souterraine et les cours d'eau. GW-TREND

Au milieu: dans le Seeland bernois (BE), l'eau souterraine est déconnectée de l'Air par temps de sécheresse, ce qui peut engendrer des problèmes. GW-TREND

A droite: un test de pompage a indiqué que le niveau de l'eau souterraine pouvait s'abaisser de plusieurs mètres, bien que le canal contienne encore beaucoup d'eau.

GW-TREND

défaut. Il faut donc s'attendre à des périodes d'étiage nettement plus longues en été. Au printemps, les crues seront plus fréquentes. Le débit hivernal sera nettement plus élevé, en raison de la baisse de l'eau stockée sous forme de glace et de neige.

Aujourd'hui, l'étiage extrême du Rhin à Bâle correspond à 600 m³ par seconde, sachant que 90% des étiages ont un niveau plus élevé. A l'avenir, cette valeur extrême se montera à 450 m³. La navigation rhénane devra donc s'adapter en conséquence. En été, les bateaux devront moins charger, tandis qu'ils pourront augmenter leur charge en hiver.

Sécheresse du sol et alimentation des sources

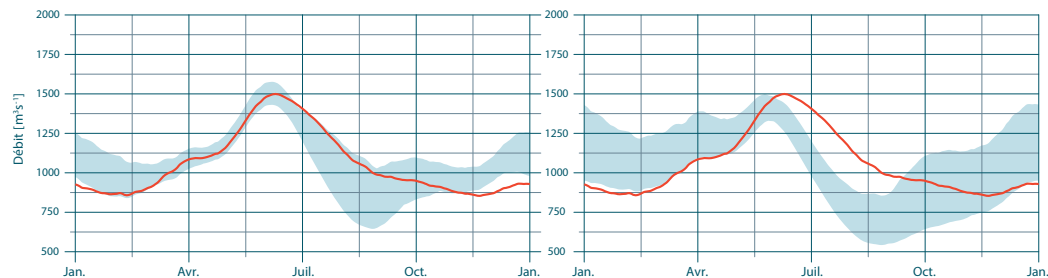
Les sources sont principalement alimentées par les précipitations qui s'infiltrent. Un sol fortement asséché peut entraîner l'interruption de l'approvisionnement en eau des sources peu profondes. A l'automne, il faudra alors davantage de temps pour que le sol s'humidifie et que l'alimentation des sources reprenne. Ce phénomène peut contribuer à l'apparition de creux estivaux dans l'alimentation en eau de ces sources.

Recherches sur l'étiage et les eaux souterraines

Outre les sources, GW-TREND a également analysé les effets des périodes de sécheresse sur les aquifères situés le long des rivières. Dans de nombreuses zones, les eaux souterraines constituent le réservoir d'eau le plus conséquent, important à la fois pour la nature, l'eau potable et l'irrigation.

III. 14: niveaux moyens des eaux du Rhin à Bâle, modélisés pour 2035 (période de fonte des glaciers) (à gauche) et 2085 (période consécutive à la fonte des glaciers) (à droite). DROUGHT-CH

Ligne rouge = débit actuel (2013)
Surface bleue = zone de variation des scénarios climatiques

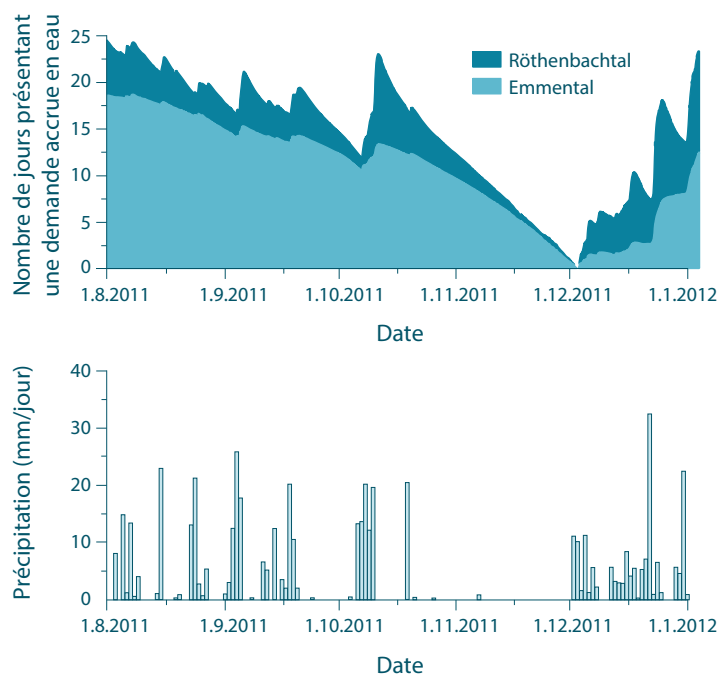


Les chercheurs se sont surtout intéressés aux aquifères préalpins présentant une perméabilité élevée et une forte pente du niveau de la nappe d'eau souterraine (gradient hydraulique). Selon leurs prévisions, ces réservoirs d'eau souterraine devraient se vider particulièrement vite pendant les périodes de sécheresse. Ainsi, le fait qu'il n'ait, par chance, pas plu pendant six semaines consécutives à la fin de l'automne 2011 a permis aux chercheurs de réaliser des comparaisons entre les modélisations et les mesures dans les zones bien équipées en instruments de mesure. Une fois de plus, les résultats ont montré qu'il était important de considérer les eaux de surface et les eaux souterraines comme un seul système. Dans cette optique, GW-TREND a élaboré une typologie et une nouvelle génération de modèles, ce qui a permis de simuler le rapport entre les débits des eaux souterraines et des eaux de surface pendant les périodes de sécheresse.

Evolution des niveaux d'eau souterraine en période de sécheresse

Dans les bassins versants où les débits sont à peu près les mêmes dans les rivières et les eaux souterraines, il se peut que le débit des eaux souterraines devienne le débit dominant pendant les périodes de sécheresse. On peut citer à titre d'exemple le cours supérieur des rivières ou les petits bassins versants. La sécheresse sera d'abord perceptible dans la rivière (tronçons asséchés), et ce n'est que plus tard qu'elle apparaîtra dans les eaux souterraines. L'Emmental (BE) supérieur, un aquifère de très petite taille, présente ces caractéristiques: en 2011, la rivière s'est asséchée après quelques semaines seulement alors qu'aucune sécheresse n'a été constatée dans l'aquifère.

Lorsque le débit d'une rivière est supérieur au débit des eaux souterraines, les périodes de sécheresse prolongées ont un effet moindre sur



III. 15: répercussions des six semaines de sécheresse sur les eaux souterraines le long de l'Emme à la fin de l'automne 2011. GW-TREND

«La sécheresse deviendra une problématique importante. Les cantons peuvent s’y préparer en réfléchissant aux questions suivantes: quelles sont les régions à risque? Quelles sont les mesures à mettre en œuvre en cas de déséquilibre entre l’offre et la demande en eau?»

Hugo Aschwanden,

division Eaux de l’OFEV.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

le volume des eaux souterraines, celles-ci étant alimentées en permanence par l’eau de rivière. Il est important que les rivières et les aquifères soient reliés de façon perméable, mais cela peut changer subitement en cas d’étiage. C’est la raison pour laquelle il n’est pas possible de tirer des conclusions sur le niveau des eaux souterraines à partir du niveau d’eau d’une rivière. Selon les circonstances, le volume d’eau souterraine disponible peut être soudainement inférieur à celui prévu.

Les systèmes de grande envergure, comme celui de la Gäu (SO), réagissent plus lentement aux périodes de sécheresse. Les petits réservoirs d’eau souterraine peu profonds présentent souvent, ce qui est d’ailleurs surprenant, un système de stockage hautement dynamique, qui a souvent été mal évalué dans les recherches hydrogéologiques menées jusqu’ici.

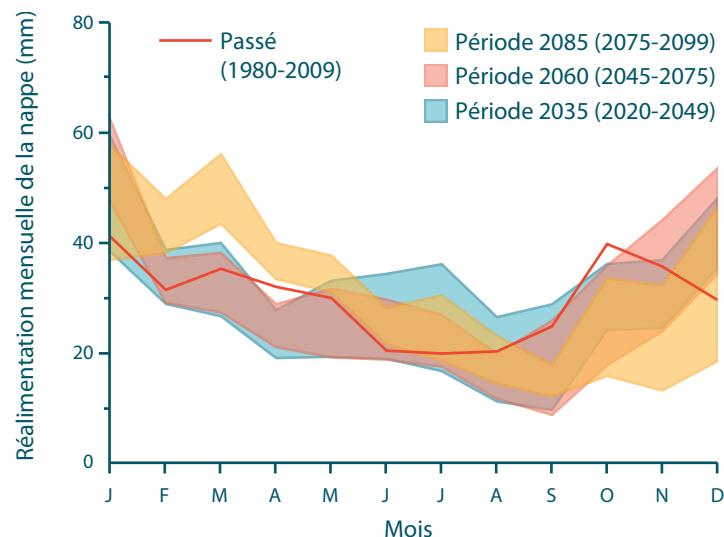
Conséquences possibles du changement climatique

Les analyses du GW-TREND montrent que l’envergure des modifications constatées dans le niveau des eaux souterraines, occasionnées par le changement climatique, peut être compensée par une optimisation de l’utilisation du sol et de

l’agriculture. Cependant, des difficultés temporaires ne sont pas à exclure. Celles-ci pourraient même dépasser les niveaux connus pendant les années 2003 et 2011. Les faibles niveaux d’eau de juin 2011 s’expliquent non seulement par les faibles précipitations, mais aussi par les quantités de neige inférieures à la moyenne observées au printemps. S’il y avait eu aussi peu de neige au printemps 2003 qu’en 2011, nous aurions été confrontés à une pénurie d’eau encore plus importante à l’été 2003.

Les particularités régionales peuvent jouer un rôle et il est difficile de tirer des conclusions générales. Il est nécessaire d’acquérir des connaissances sur les conditions spécifiques pour évaluer les conséquences du changement climatique. La région de Seeland (BE, FR) en est un exemple: en été 2011, l’Aar a été séparée du réservoir d’eau souterraine en raison des étiages. Par conséquent, le niveau de la nappe d’eau souterraine a baissé d’un bon mètre sur une surface de 10 km². De tels effets risquent de limiter les possibilités d’irrigation à l’avenir. A l’inverse, les vastes aquifères plus profonds et moins perméables peuvent, d’après le GW-TREND, jouer

III. 16: formation d’eaux souterraines par infiltration des précipitations au niveau de l’Emme (BE). GW-TREND



un rôle important dans l'atténuation des effets du changement climatique. Ils sont nettement moins tributaires des fluctuations saisonnières que d'autres aquifères.

Comment exploiter les réservoirs d'eau souterraine?

Les aquifères devraient de plus en plus être exploités au niveau régional. L'accès à une multitude d'aquifères différents et possédant diverses propriétés peut présenter un gros avantage pendant les périodes de sécheresse extrême. Malheureusement, l'urbanisation croissante limite en maints endroits les possibilités de sécuriser les réserves en eaux souterraines par une gestion optimale du sol. Pour les spécialistes, ce problème revêt une plus grande importance que le changement climatique.

La protection contre les crues et la renaturation des rivières modifient considérablement les systèmes. Il est nécessaire de mieux prendre en compte ces effets dans les bilans régionaux des eaux souterraines. Ainsi, une renaturation ciblée peut permettre d'améliorer l'alimentation des aquifères. Ceux-ci seraient alors mieux remplis pendant les périodes de sécheresse.

Etiage et habitats des poissons

Les débits estivaux des rivières telles que la Petite Emme (LU) pourraient être sensiblement réduits dans un avenir relativement lointain (2070-2099), un phénomène dont les répercussions ne seront pas uniquement négatives. Il contribue, par exemple, à développer la diversité des milieux naturels pour les alevins. Des habitats apparaissent ainsi dans les eaux peu profondes. Cependant, ce résultat ne permet pas de conclure que les changements climatiques sont positifs pour les poissons. On ne sait par exemple pas quelles seront sur eux les répercussions de la hausse des températures de l'air et de l'eau.

Etiage et centrales au fil de l'eau

La sécheresse estivale exerce une influence sur la gestion de l'énergie hydraulique dans les centrales au fil de l'eau. Les étiages extrêmes entraîneront des pertes de puissance et des restrictions dans l'utilisation de l'énergie hydraulique au niveau des rivières du Plateau dont les bassins versants sont surtout alimentés par les précipitations.

Utilisation des eaux	Répercussions
Agriculture	Les besoins en irrigation augmentent.
Eau potable	En cas de sécheresse extrême, la sécurité d'approvisionnement n'est pas garantie dans toutes les régions.
Canalisation	Le rinçage des réseaux est insuffisant.
Eaux usées	Les étiages peuvent compromettre la qualité de l'eau des rivières. Les eaux usées ne sont pas assez diluées. La température de l'eau augmente.
Navigation	Les bateaux ne peuvent plus naviguer.
Force hydraulique	Le phénomène d'étiage entraîne des pertes de production dans les centrales au fil de l'eau. Les répercussions se font très rarement sentir sur le stockage annuel.
Tourisme/détente	Les lits des rivières sont asséchés.
Services écologiques	La concurrence augmente dans le domaine de l'eau. La quantité d'eau disponible pour les milieux naturels est réduite.
Pêche	Les lits des rivières sont asséchés.

Tab. 5: quelles sont les répercussions de la sécheresse et des étiages pour différentes utilisations de l'eau?
DROUGHT-CH

La plateforme Internet www.drought.ch enregistrait déjà 172 utilisateurs trois mois après sa mise en ligne. Les autorités représentent le principal groupe d'utilisateurs (42%).

La production d'énergie hydraulique n'a pas été limitée uniquement lors de la canicule de l'été 2003. En 2011, les faibles niveaux d'eau des rivières ont également conduit les petites centrales au fil de l'eau à interrompre leur activité, tandis que les plus grandes fonctionnaient de façon limitée. Pendant ces canicules, le manque d'électricité a été compensé en partie par des importations et en partie par les bassins d'accumulation. Comme les prix de l'électricité sur le marché européen sont généralement fluctuants, ces restrictions n'ont eu que peu de répercussions financières sur les exploitants de centrales électriques.

Dans quels domaines les acteurs de terrain ont-ils besoin de soutien?

DROUGHT-CH a interviewé des représentants de différents groupes d'intérêt. Les résultats ont montré qu'il n'était pas nécessaire de recourir à de nouvelles infrastructures pour faire face aux périodes de sécheresse de plus en plus fréquentes. Les acteurs de terrain souhaitent plutôt des systèmes de détection précoce des épisodes de sécheresse, un suivi du débit d'eau

minimal dans les rivières et les eaux souterraines, ou encore des réseaux de mesures de l'humidité du sol et de l'évaporation. Pour les secteurs particulièrement touchés par la sécheresse ou les étiages, il est important de pouvoir disposer presque quotidiennement d'informations permettant la détection précoce des périodes de sécheresse. La plupart des spécialistes souhaiteraient une plateforme Internet fournissant des informations en temps réel.

Projet pilote pour un système de détection précoce

Le prototype de la plateforme (www.drought.ch) permet de fournir des prévisions concernant la sécheresse sur plusieurs jours. Certains paramètres permettent également des prévisions sur une période d'un mois au maximum. Les résultats des différents projets du PNR 61 y sont intégrés. Une grande partie des données est collectée automatiquement. Un modèle élaboré par l'EPF Zurich permet de déterminer l'humidité du sol deux semaines à l'avance. Par ailleurs, un modèle opérationnel de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) traite des informations sur les quantités de

III. 17: le premier système de détection précoce des épisodes de sécheresse. DROUGHT-CH

The screenshot shows the DROUGHT-CH website interface. At the top, there is a navigation bar with links: 'projet de recherche sur la sécheresse-CH', 'Sécheresse Nouvelles Archives', 'Les informations à long terme', 'Contactez', and 'Réaction'. Below the navigation bar is a header section with the title 'Situation générale' and a map of Switzerland. The map is overlaid with a legend for 'Algemeine Lage' (General Situation) with categories: 'Keine Trockenheit' (No drought), 'Leichte Trockenheit' (Light drought), 'Mittlere Trockenheit' (Medium drought), and 'Grosse Trockenheit' (Severe drought). Below the map, there is a status message: '• Pas anomalie situation concernant la sécheresse' and a date: 'Mettre à jour le président: 18 Août 2014, 13: 15h'. To the right of the map, there is a 'Bienvenue à drought.ch' section and a 'Sécheresse Nouvelle' (New Drought) section with a list of news items, including '16 juillet 2014: la sécheresse en Californie: le gaspillage de l'eau est puni (NZZ)', '13 juillet 2014: Nouvelle publication sur l'extrême sécheresse en Europe en 1540 dans les changements climatiques', '22 juin 2014: Un orage pour le fédéral ... [20min.ch]', '20 juin 2014: Forêt danger d'incendie en raison de la sécheresse dans plusieurs régions [Blaudun]', '18 juin 2014: crise de l'eau dans les champs et dans la forêt [B&Z]', '8 avril 2014: incendie interdit dans les forêts du sud de la Suisse.', and 'Avril 2014: l'assurance Malgre? Si dans le Landbote discuté. Archives'.



neige afin d'améliorer les prévisions relatives aux étiages. Cet exemple illustre parfaitement la collaboration existant entre les instituts et centres de recherches au sein du PNR 61.

Pour continuer à exploiter cette plateforme, des financements sont nécessaires, de même que des dispositifs de mesures automatiques de l'humidité du sol, des eaux souterraines et de l'évaporation sur l'ensemble du territoire. Les mesures des débits et des précipitations doivent être poursuivies avec la même intensité que jusqu'ici. Le potentiel d'application en Suisse est considérable, en raison de la pluralité des utilisateurs d'eau. Le système permet, par exemple, de prévoir les niveaux d'étiage trois semaines à l'avance, ce que nombre de spécialistes de terrain estiment utile. Cependant, peu sont disposés à payer pour ces informations.

Points restant à traiter

La plupart des zones analysées par le PNR 61 étaient situées dans des régions rurales. Il est nécessaire d'approfondir la recherche dans les zones urbaines, où le cycle de l'eau est fortement modifié.

Comme auparavant, il est difficile de quantifier les réserves d'eau souterraine sous l'angle de leur variabilité spatiale et temporelle, et notamment l'alimentation des eaux souterraines par les rivières ainsi que l'influence du manteau neigeux. GW-TREND montre que les réservoirs d'eau souterraine plus profonds, qui réagissent lentement,

jouent un rôle important pendant les périodes de sécheresse. Mais, à l'heure actuelle, cette importance est encore difficile à quantifier en période d'étiage. De nouveaux modèles sont nécessaires à cet effet.

Seules des analyses effectuées sur le terrain permettront de renforcer la compréhension des processus entrant en jeu dans ce genre de phénomènes et l'évaluation des conséquences du changement climatique. Cette recherche coûteuse requiert du temps et des ressources.

Recommandations

Pour que les conséquences du changement climatique puissent aussi être appréhendées, il est nécessaire d'optimiser les réseaux de surveillance. Ce faisant, les phénomènes d'étiage et la dynamique des eaux de surface requièrent une attention particulière.

Les réseaux de mesures des eaux souterraines et de l'évaporation doivent continuer à être développés.

La collaboration régionale – communes, utilisateurs d'eau – doit être renforcée, en particulier dans les zones menacées par la sécheresse estivale et l'étiage.

Des dispositifs supplémentaires sont nécessaires pour les périodes de sécheresse extrêmes ainsi que pour l'approvisionnement en eau potable, les restrictions appliquées aux utilisations intensives de l'eau, l'irrigation ou l'utilisation de la force hydraulique dans les rivières du Plateau.

A gauche: les acteurs de terrain souhaitent des systèmes de détection précoce des épisodes de sécheresse, un contrôle du débit d'eau minimal dans les rivières et les eaux souterraines ou des réseaux de mesures de l'humidité du sol et de l'évaporation. DROUGHT-CH

Au milieu: le prototype de plateforme d'information sur la sécheresse a été amélioré lors d'un atelier réalisé avec différents spécialistes issus à la fois de la recherche et du terrain. Photo Sabine Rock

A droite: la plateforme d'information sur la sécheresse est une mesure importante de l'OFEV dans le cadre de l'adaptation au climat. Les premières évaluations ont permis de constater que ce prototype suscitait un grand intérêt. DROUGHT-CH

Besoins en eau de l'agriculture: dans quels domaines augmentent-ils?

Quand il ne pleut pas suffisamment, l'agriculture a recours à l'irrigation. Sous l'effet du changement climatique, les problèmes pourraient s'aggraver dans certaines régions. Il se peut que l'eau se fasse rare. La productivité de l'agriculture et la qualité des produits peuvent également être garantis sans recours excessif à l'irrigation.

Les données sur l'agriculture proviennent majoritairement de l'Office fédéral de la statistique (OFS) et de l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG).

Pression accrue sur l'irrigation

Dans l'Europe méridionale, on consacre en moyenne 59 à 88% de l'eau disponible à l'irrigation. Du fait du changement climatique, le thème de l'irrigation devrait gagner en importance en Suisse. A l'heure actuelle, seule une surface de 36 000 ha environ est irriguée (2012), soit environ 3% de la surface agricole utile. Mais les besoins en eau augmentent avec le changement climatique. La solution courante consistera à couvrir ces besoins par une irrigation supplémentaire en été.

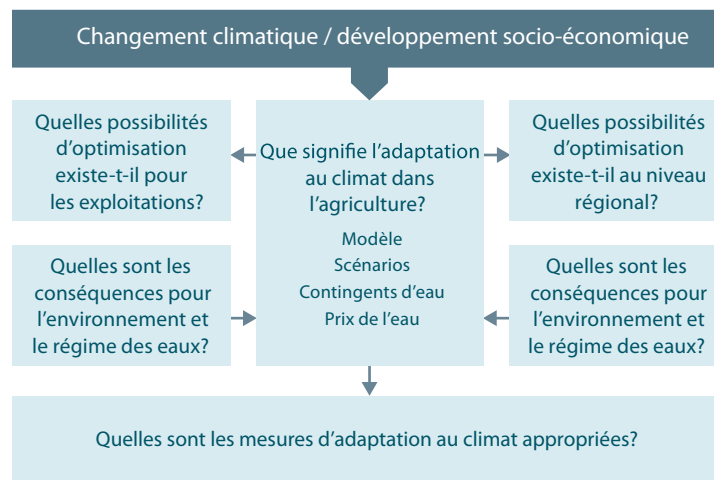
La décision d'irriguer relève d'une réflexion propre à l'exploitation. Les cultures pour lesquelles les recettes supplémentaires moyennes

justifient les coûts occasionnés par l'irrigation doivent être irriguées. Il s'agit principalement, dans les grandes cultures, du maïs, de la pomme de terre, de la betterave à sucre et en particulier des cultures maraîchères. Celles-ci sont très répandues sur le Plateau. Parmi les exploitations qui irriguent les champs et les prairies aujourd'hui, 46% utilisent l'eau provenant des ruisseaux, des rivières et des lacs. Ces prélèvements d'eau, qui requièrent une autorisation, ne posent aucun problème s'il y a suffisamment d'eau. Si l'eau se fait rare, un arrêt des prélèvements doit être ordonné dès que le débit d'eau des ruisseaux atteint une valeur critique.

Aspects étudiés par le PNR 61

Quelles sont les répercussions des changements climatiques sur la productivité, les besoins en eau et les autres fonctions des écosystèmes agricoles? Quelles sont les possibilités d'adaptation au changement climatique qui permettent de conserver le niveau de productivité tout en réduisant autant que possible les besoins en eau et les répercussions sur l'environnement? Le projet AGWAM s'est penché sur ces questions, et sur bien d'autres encore, dans deux bassins versants de taille moyenne soumis à une agricul-

III. 18: domaines dans lesquels les besoins en eau de l'agriculture augmentent – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.





ture intensive et présentant des propriétés différentes. La vallée de la Broye (VD) a tendance à s'assécher, tandis que la région de Greifensee (ZH) est plutôt humide.

S'appuyant sur des modélisations, l'AGWAM a analysé comment optimiser les besoins en eau en modifiant l'utilisation du sol et l'exploitation sans pour autant limiter sensiblement le ren-

dement et les revenus des agriculteurs ni nuire davantage à l'environnement. Les observations régionales et les modèles ont tout d'abord été associés afin d'obtenir une représentation des exploitations. De nouvelles connaissances ont été ainsi acquises sur le potentiel d'adaptation de l'agriculture intensive au climat sur le Plateau.

A gauche: l'irrigation devient toujours plus problématique sur le Plateau. Dans les régions sèches et soumises à une agriculture intensive, les problèmes s'aggravent avec le changement climatique. AGWAM

Au milieu: le projet AGWAM a permis de discuter avec les personnes concernées des problèmes et des scénarios envisageables. Photo Sabine Rock

A droite: exploitation agricole dans la Broye. Les agriculteurs sont sensibles aux incitations financières. AGWAM



III. 19: répartition spatiale des besoins en irrigation moyens pour les surfaces agricoles utiles en Suisse; calcul pour les périodes de végétation de 1980 à 2006 avec une résolution de 500×500 m. AGWAM

Besoins en eau (m³/ha)



Dans le canton du Vaud, l'arrêt des prélèvements d'eau a été ordonné huit fois sur la période 1998-2010. De telles mesures augmentent le risque de pertes de revenus pour les agriculteurs.

Pénurie d'eau

Il est très probable que le changement climatique entraîne, notamment sur le Plateau, des périodes de sécheresse plus fréquentes et plus longues. Les niveaux des eaux de surface et des eaux souterraines ainsi que les réserves en eau du sol diminuent. En parallèle, les températures plus élevées et le rayonnement solaire accru augmentent le taux d'évaporation. Les cultures agricoles ont besoin de davantage d'eau. Par conséquent, les besoins en irrigation supplémentaire augmentent aussi. Cette situation a déjà été vécue pendant les années de sécheresse aigüe, comme en 2003.

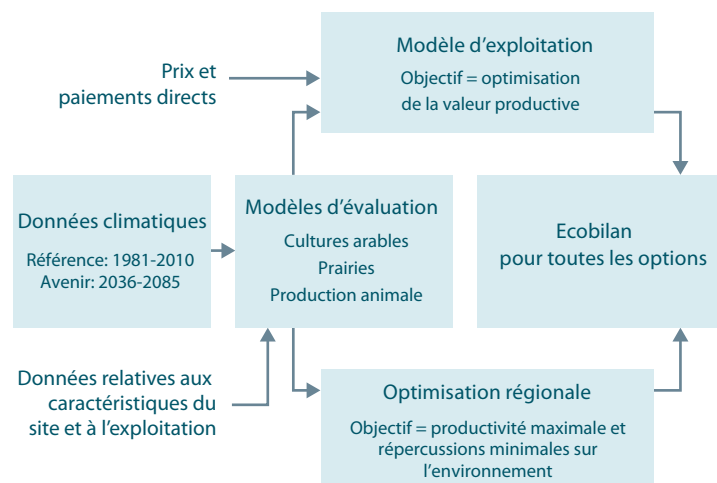
L'AGWAM a calculé le risque de pénurie d'eau à l'avenir pour différents bassins versants – la Thur (SG/ZH), l'Emme (BE), Glatt-Töss (ZH), la Birse (BE, BS, BL, JU, SO) et Broye-Menthue (VD). En se basant sur un scénario à climat «doux», l'augmentation n'est que minime. Cependant, si l'on se fonde sur des scénarios «extrêmes», le risque augmente considérablement. Les périodes de pénurie d'eau pourraient se multiplier principalement dans les régions d'agriculture intensive caractérisées par un climat sec et de petits cours

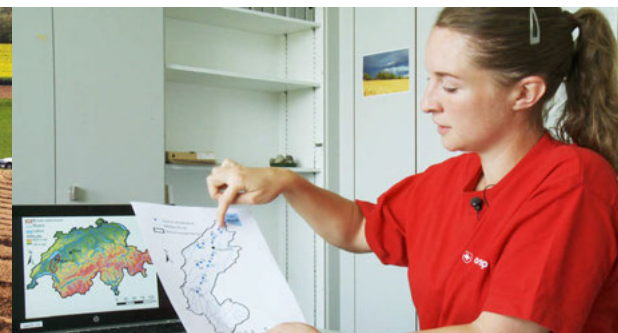
d'eau. La vallée de la Broye (VD) en constitue un exemple. Si les agriculteurs maximisaient partout le rendement par l'irrigation, la surface irriguée augmenterait considérablement par rapport à celle effectivement irriguée aujourd'hui et le volume d'eau nécessaire triplerait.

Alternatives à l'extension de l'irrigation

Les facteurs que sont la surface cultivée et le type de cultures, les moyens techniques à disposition ainsi que l'accès aux sources d'eau abondantes déterminent si l'irrigation permet de couvrir les besoins supplémentaires en eau, et dans quelle mesure. Dans les régions d'agriculture intensive caractérisées par un climat sec, il se peut que la demande en eau d'irrigation dépasse légèrement les ressources en eau disponibles. Une politique de «laisser-faire», c'est-à-dire d'intensification incontrôlée de l'irrigation, n'est pas durable. Si l'on couvre les besoins élevés en eau par l'irrigation, la production augmentera certes, mais les cours d'eau seront fortement sollicités et l'environnement en pâtira. L'agriculture a donc besoin de nouvelles stratégies pour optimiser l'utilisation de l'eau et, en cas de pénurie d'eau,

III. 20: L'AGWAM a examiné l'adaptation au climat dans l'agriculture selon une approche globale.





réduire sa dépendance à l'utilisation d'eau supplémentaire. La répartition de l'eau doit intervenir sur la base de principes et de critères objectifs.

Exemple: la vallée de la Broye (VD)

La situation actuelle ainsi que l'évolution prévue pour la période 2036-2065 ont fait l'objet d'une étude détaillée dans le cadre de l'AGWAM. Ces résultats ont été comparés avec les résultats d'études menées dans la région de Greifensee (ZH), plus humide. Aujourd'hui déjà, l'eau de la vallée de la Broye (VD) se fait souvent rare en été. En 2010, l'eau n'a même pas suffi à couvrir tous les besoins des agriculteurs de la région et les autorités ont dû ordonner des interdictions de prélèvement d'eau.

Les études montrent que l'irrigation incontrôlée en vue d'une production maximale, alors que les restrictions d'eau sont croissantes, a des répercussions négatives sur l'environnement dans cette région. La pression sur les réservoirs naturels, tels que les rivières et les lacs, augmente constamment. De nouveaux conflits apparaissent tandis que les conflits existants s'intensifient. Les solutions techniques, telles que les nouvelles technologies d'irrigation, la construction de réservoirs ou de canalisations pour l'eau des lacs, sont onéreuses et ne présentent pas toujours un caractère durable. Mais ce sont toujours les solutions prioritaires pour les agriculteurs. Les alternatives sont à peine abordées.

Qu'est-ce que l'adaptation au climat?

L'AGWAM a élaboré un modèle permettant de contrôler les stratégies d'adaptation au climat. L'adaptation au climat s'effectue au niveau spatial, et concerne la classification et le type d'utilisation des sols. Mais elle a également lieu au niveau des exploitations, qui s'adaptent aux conditions-cadres définies.

Au plan spatial, l'AGWAM a utilisé un modèle écosystémique pour les grandes cultures et les herbages. Il a ainsi calculé, avec une résolution de 500x500 m, le rendement, l'érosion, la perte d'azote par lessivage et le volume d'eau requis. Les résultats ont été intégrés dans un modèle destiné à l'optimisation régionale, lequel a permis d'évaluer les objectifs et de sélectionner les mesures d'exploitation les plus propices à une réalisation optimale de l'objectif. Le choix portait sur les cultures agricoles, la fertilisation, le labour ou l'irrigation.

Au niveau de l'exploitation, l'AGWAM a établi un autre modèle, qui associe le modèle écosystémique et le modèle économique. Le choix des cultures et du type d'exploitation permet de définir la structure économique optimale d'une exploitation agricole. Grâce au modèle, il est possible d'établir plusieurs hypothèses concernant les prix et la politique (par exemple, les paiements directs). Dans une dernière étape, les répercussions des différents résultats de ces deux niveaux sur l'environnement ont été vérifiées sur la base d'une méthode d'écobilan.

A gauche: la productivité de l'agriculture et la qualité des produits peuvent également être garanties sans intensification excessive de l'irrigation. AGWAM

Au milieu: exploitation agricole dans la Broye. Les agriculteurs sont sensibles aux incitations financières.

Photo Felix Luder

A droite: dans la région de la Broye, la température de l'eau a également été mesurée sur plus de 20 sites. Différents scénarios climatiques ont permis de déterminer que la température augmenterait d'environ trois degrés, ce qui est excessif pour les ombres et de nombreux organismes aquatiques. AGWAM



A gauche: le choix des cultures de plein champ influe sur le besoin en eau. AGWAM

Au milieu: à l'avenir, les cultures requérant beaucoup d'eau, comme la pomme de terre, devront avant tout se trouver à proximité de grands lacs, là où il y a suffisamment d'eau disponible pour l'irrigation. AGWAM

A droite: dans les régions sèches, il est conseillé aux exploitants de favoriser les cultures d'hiver, comme le colza. Photo Felix Luder

Evolutions possibles dans la vallée de la Broye (VD)

Dans la discussion avec les acteurs des milieux politiques, de l'aménagement et de terrain, trois stratégies ont été sélectionnées et ont fait l'objet de calculs en ce qui concerne le niveau spatial. Regroupées sur la région, elles correspondent chacune à une orientation différente d'adaptation de l'agriculture au changement climatique:

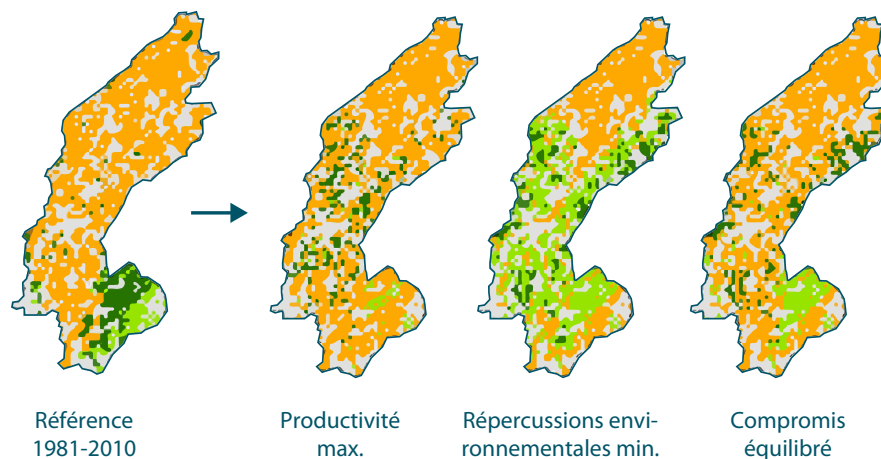
- ▶ «Productivité»: productivité maximale;
- ▶ «Environnement»: répercussions environnementales minimales;
- ▶ «Compromis»: compromis équilibré.

Si la stratégie «Productivité» permet d'atteindre des rendements plus élevés dans des conditions climatiques plus chaudes, elle nécessite néanmoins beaucoup plus d'eau pour l'irrigation. Le volume d'eau requis à cet effet dépasse nettement le volume disponible dans les cours d'eau de la Broye. Par ailleurs, cette stratégie a pour effet d'augmenter l'érosion du sol et la perte d'azote par lessivage en raison de l'intensité des précipitations, de l'augmentation de grandes cultures à plus haute altitude et de la minéralisation accrue du sol.

Avec la stratégie «Environnement», la productivité de l'agriculture diminue. S'agissant de l'uti-

III. 21: évolution possible de l'utilisation des sols dans la Broye: référence (1981-2010), trois scénarios pour 2035-2065: productivité, environnement et compromis. AGWAM

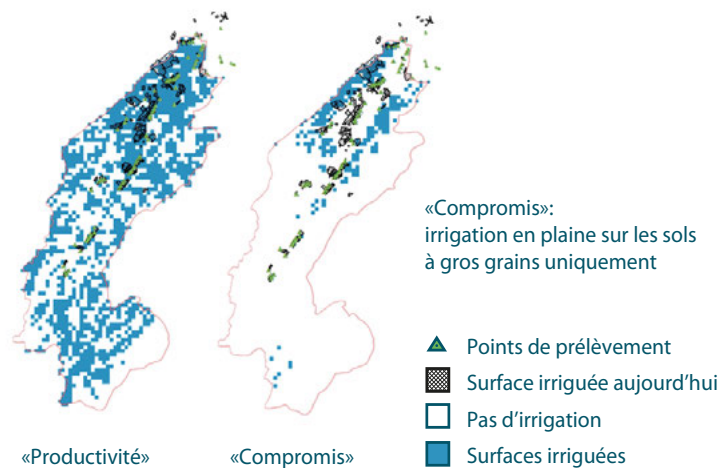
- Aucune agriculture
- Pâturage
- Prairies permanentes
- Terres cultivées



lisation du sol, une bonne part des terres sont dédiées à des prairies permanentes, aux dépens des grandes cultures telles que le maïs grain ou le blé d'hiver. Dans la stratégie «Compromis», la part des cultures d'hiver et des prairies permanentes s'accroît. L'irrigation doit augmenter de façon modérée suite au changement climatique. Il est possible d'atteindre des rendements légèrement plus élevés, les répercussions environnementales étant quasiment identiques.

Répercussions sur les besoins en eau

Selon toute vraisemblance, la stratégie «Productivité» provoquera à l'avenir d'importantes difficultés liées à la disponibilité de l'eau en provenance de la Broye (VD) dans les mois de juin à août. En effet, la surface irriguée s'étendra considérablement. Contrairement aux autres régions, la vallée de la Broye (VD) offre la possibilité d'exploiter d'autres sources d'eau pour l'agriculture: par exemple, l'eau souterraine ou le pompage de l'eau du lac de Neuchâtel (NE). A première vue, ces solutions paraissent judicieuses. Mais elles peuvent occasionner des coûts d'investissement et des frais d'entretien élevés devant être pris en charge non seulement par l'agriculture mais aussi par la collectivité.



La stratégie «Compromis» est recommandée comme meilleure variante. Grâce à une stratégie régionale équilibrée, la productivité peut être maintenue avec un minimum de conflits et une augmentation limitée de la consommation d'eau. L'eau de la Broye est suffisante, sous réserve que chacun fasse des efforts.

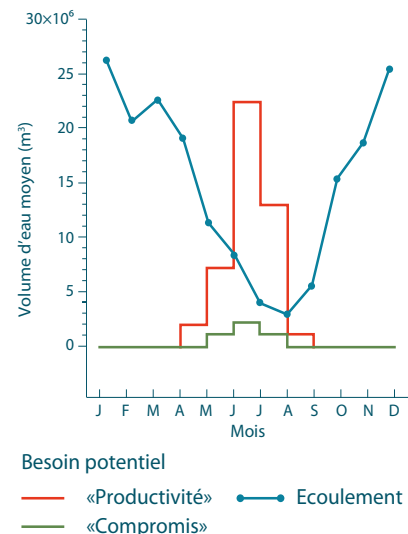
Adaptation au climat du point de vue des exploitations agricoles

Les modifications en matière de prix et de politique ont des effets plus importants que le changement climatique sur les résultats d'une exploitation agricole. Les adaptations opérées dans le mélange des cultures et dans la gestion en vue de mettre en œuvre la stratégie «Compromis» peuvent être influencées de manière efficace par les instruments de l'économie de marché. Les interventions en matière de réglementation se répercutent sur les prix. Citons, à titre d'exemple, l'introduction de contingents annuels d'eau pour les exploitations agricoles ou l'augmentation générale des prix de l'eau.

Si l'eau venait à se faire rare, les paiements directs constitueraient un instrument approprié pour le contrôle de la consommation d'eau. Ils sont d'ores et déjà soumis à certaines conditions

III. 22 (à gauche): répercussions des scénarios d'avenir «Productivité» et «Compromis» (irrigation en plaine sur les sols à gros grains uniquement) sur la surface irriguée de la Broye (2035-2065). AGWAM

III. 23 (à droite): l'eau de la Broye vient à manquer uniquement dans le scénario «Productivité». AGWAM



«Dans les régions qui ont tendance à s'assécher et qui sont soumises à une agriculture intensive, les quotas d'eau sont une bonne solution.»

Jürg Fuhrer, AGWAM, Agroscope.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

(p. ex. la teneur en nitrates). A l'avenir, la consommation d'eau pourrait représenter un critère supplémentaire. Un quota serait calculé pour chaque exploitation. Les exploitations disposeraient de conditions-cadres claires et sauraient à l'avance les volumes d'eau qu'elles pourraient utiliser pour l'irrigation.

Qu'apportent les mesures réglementaires?

L'adaptation au climat peut être mise en œuvre sans perte de productivité au niveau de l'agriculture et sans répercussion négative sur l'environnement pour autant que le mélange opéré soit correct. A cet égard, les mesures réglementaires jouent un rôle important. Elles incitent les agriculteurs à utiliser l'eau disponible plus efficacement. Le volume d'eau consommé est mieux adapté aux besoins et la période d'irrigation est choisie avec précaution.

Le rendement agricole devrait certes baisser quelque peu, mais le profit ne diminuera que de manière insignifiante. C'est ce que montrent les simulations d'AGWAM. La marge brute d'exploitation correspond à la différence entre les recettes d'exploitation et les frais variables requis à cet effet (p. ex. pour l'irrigation, les semences). Malheureusement, il est aujourd'hui toujours aussi difficile de convaincre nombre d'agriculteurs que les mesures réglementaires ne réduisent pas leurs profits. Il n'est pas si simple de combattre les idées reçues. Il faut sensibiliser, expliquer, dialoguer et former.

Adaptation au climat dans les régions sèches

Pour la vallée de la Broye (VD), relativement sèche, la stratégie du «Compromis» est de loin la meilleure solution. La productivité agricole est maintenue et la Broye est en mesure de couvrir les besoins en irrigation. Par ailleurs, ni l'érosion du sol ni le lessivage d'azote n'augmente.

Les éléments suivants sont importants:

- ▶ une technologie optimale associée à une haute efficacité d'irrigation;
- ▶ le développement de cultures hivernales et un labour adapté;
- ▶ l'introduction de contingents d'eau afin de prévenir les répercussions sur l'environnement et de protéger les cours d'eau sensibles;
- ▶ une modification dans le mélange des cultures et l'organisation spatiale de l'utilisation du sol.

Ces mesures peuvent être introduites progressivement. Elles offrent une solution alternative efficace par rapport à la pratique courante qui consiste à couvrir les besoins en eau croissants par l'utilisation de l'eau des rivières et des lacs via des infrastructures plus onéreuses. Sans réglementation, la consommation d'eau dans l'agriculture augmentera considérablement au cours des prochaines décennies. Dans ce cas, des répercussions négatives sur l'environnement et des difficultés liées à la disponibilité de l'eau seraient inévitables.

Que se passe-t-il dans les régions humides du Plateau?

Prenons l'exemple de la région de Greifensee (ZH). L'irrigation y jouera un rôle toujours insignifiant, même dans des conditions climatiques différentes. Dans certains cas, les agriculteurs interrogés par l'AGWAM souhaiteraient même, pour leurs cultures, que l'aridité soit bien plus prononcée. En raison de l'augmentation des températures, une baisse de rendement est toutefois prévue à l'avenir. En ce qui concerne l'adaptation au climat, les options peuvent être prises en compte: choisir des variétés plus résistantes à des températures plus élevées; modifier le mode d'exploitation et l'assolement.

Plan directeur: une nécessité

L'AGWAM montre que le système agricole est plutôt robuste face aux changements liés au climat. Il existe des solutions alternatives judicieuses en matière d'adaptation au climat. Dans les régions

où les périodes de sécheresse estivale se multiplient, il est nécessaire de définir une approche orientée sur des objectifs à long terme. Il est important de remporter l'adhésion des acteurs concernés et de préparer pas à pas l'agriculture aux conséquences du changement climatique, comme suit:

- ▶ dans l'immédiat: des mesures directement applicables, telles que les modifications du labour et de l'assolement;
- ▶ ensuite: des investissements dans les infrastructures, associés à des mesures réglementaires (prix de l'eau, quotas d'eau) et des améliorations techniques combinées à des formations et à des campagnes de sensibilisation;
- ▶ si les deux premières séries de mesures ne suffisent pas: des modifications dans l'organisation de l'utilisation du sol.

Politique et administration: quelle utilité?

Avec un taux d'auto-provisionnement supérieur à 50% et une population croissante en Suisse, les besoins en production intérieure sur une surface limitée ne cesseront d'augmenter. Les milieux politique et administratif doivent épauler l'agriculture dans son adaptation au climat.

- ▶ La consommation d'eau dans l'agriculture doit être réglementée. Ainsi, même dans des conditions climatiques plus chaudes et plus sèches, la pression sur les réservoirs naturels sera limitée et la productivité garantie.
- ▶ Il convient de développer la formation des agriculteurs dans les domaines de l'utilisation de l'eau et de l'irrigation.
- ▶ La priorité doit être accordée à une augmentation de l'efficacité de la production, car, même dans le cas de la stratégie du «Compromis», le potentiel de gaz à effets de serre et le lessivage d'azote restent élevés. Cependant, cette augmentation de l'efficacité doit être combinée à des restrictions en matière d'utilisation de l'eau afin de garantir une protection efficace des ressources en eau.

L'irrigation doit être limitée sur les sites appropriés, ce qui requiert l'avis de spécialistes. A cet égard, l'approche développée par l'AGWAM les aide. Si l'irrigation est nécessaire, l'eau doit provenir de réservoirs naturels ou artificiels très grands. Il convient d'éviter ou de contingenter tout prélèvement sur des sources sensibles, telles que les petits cours d'eaux ou les petites réserves d'eau souterraine.

Le mélange et la gestion des cultures peuvent être contrôlés efficacement par le biais du système de paiement direct, du contingentement ou des prix de l'eau sans que les agriculteurs subissent de manque à gagner trop important. Le subventionnement d'installations d'irrigation doit être limité aux meilleures technologies possibles. A l'instar des réglementations relatives au phosphore et aux nitrates, des contingents d'eau pourraient être appliqués dans le cadre des prestations écologiques requises (PER).

Points restant à traiter

A l'heure actuelle, la sensibilisation à cette problématique et l'acceptation de mesures innovantes telles que la réglementation, les prix de l'eau, les quotas d'eau, les paiements directs ou l'eau comme prestation écologique requise (PER) sont encore faibles chez les agriculteurs. Il est indispensable de réaliser d'autres études régionales pouvant servir de base à un dialogue constructif. Il faut également des modèles encore meilleurs pour faire face aux situations extrêmes de sécheresse et d'étiage.

Recommandations

Les investissements dans des études régionales et des processus de dialogue menés avec les acteurs concernés du domaine agricole sont importants. L'AGWAM montre la marche à suivre. Les régions touchées par la sécheresse ont besoin d'un agenda politique (plan directeur) dans lequel les mesures d'adaptation au climat seront planifiées et mises en œuvre de manière échelonnée.

Canaux d'irrigation et paysages ruraux alpins

Le partage matériel ainsi que l'irrigation et les méthodes d'exploitation traditionnelles ont donné naissance, dans les Alpes, à des valeurs écologiques et agricoles, dont les bisses constituent le pilier. Là où ils tombent en ruine, ces valeurs disparaissent. La modernisation est un facteur-clé de la durabilité.

Les bisses du Valais sont actuellement candidats à l'inscription au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Canaux d'irrigation traditionnels

En Valais et dans d'autres vallées intra-alpines, l'irrigation est un élément central de l'agriculture de montagne depuis des siècles. Les systèmes de transport et de distribution d'eau ont été construits, souvent sur de longues distances et de façon spectaculaire, pour l'irrigation des prairies, des zones viticoles et fruitières, des cultures spéciales et des jardins. Jusqu'au XX^e siècle, ils servaient aussi à l'approvisionnement en eau potable.

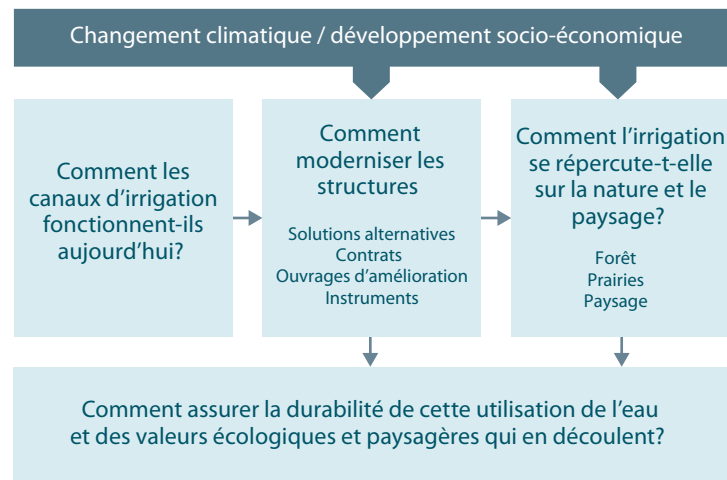
En Valais, l'eau provient essentiellement des glaciers. Elle est acheminée par des canaux, les «bisses», jusqu'aux zones cultivables. Le Valais ne compte pas moins de 200 installations d'une longueur totale de 2000 km. Ces systèmes étaient

exploités sous forme de coopératives presque partout. Aujourd'hui encore, ils garantissent l'apport d'eau provenant des torrents de montagne. L'avenir de ces systèmes historiques est incertain. Des températures plus élevées, une réduction attendue du volume de précipitations en été, le recul des glaciers et surtout des mutations structurelles dans l'agriculture de montagne, voilà les défis auxquels ils sont confrontés. La méthode traditionnelle d'irrigation par ruissellement des pentes a déjà été remplacée en maints endroits par des dispositifs d'arrosage par aspersion. Les canaux principaux sont reliés par des tuyaux. L'agriculture de montagne est menacée partout où les bisses sont à l'abandon ou en ruine. C'est un bien culturel qui se perd. La reprise de l'exploitation est quasiment impossible. Les valeurs écologiques disparaissent. De même, il est très difficile de réactiver les structures de coopératives traditionnelles qui constituent une part de l'héritage culturel des bisses.

Aspects étudiés par le PNR 61

Le programme de recherche s'est penché sur l'avenir des canaux d'irrigation, si précieux sur les plans écologique, culturel et touristique dans les Alpes, en adoptant une approche interdiscipli-

III. 24: canaux d'irrigation dans les Alpes – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.





naire et transdisciplinaire. Les conséquences du changement climatique, la réalité écologique, mais aussi la mutation structurelle de l'agriculture ont fait l'objet d'études de cas détaillées.

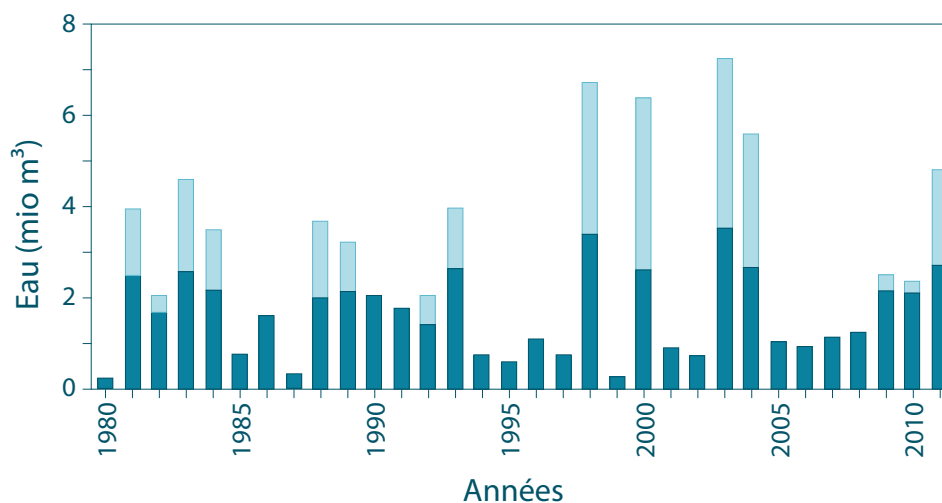
Le projet MONTANAQUA est parvenu à quantifier la consommation d'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (VS). Le système traditionnel des bisses continue d'y jouer un rôle important. Le projet WATERCHANNELS a permis de mener des études socio-économiques approfondies ainsi que des études portant sur la biodi-

versité de l'irrigation des prairies et l'influence de l'irrigation passive dans les forêts de montagne. Les chercheurs ont comparé différentes formes d'irrigation. Les deux projets ont mis en évidence la manière dont les systèmes d'irrigation traditionnels pouvaient réagir face aux défis de l'avenir et du changement climatique. Il est important d'ouvrir les structures traditionnelles. Le dialogue avec les acteurs concernés permet d'esquisser l'avenir.

A gauche: les bisses sont un héritage culturel. Ils affectent également le régime des eaux. Les arbres qui poussent en aval des bisses possèdent des cernes nettement plus larges. WATERCHANNELS

Au milieu: irrigation traditionnelle des prés par ruissellement des pentes. WATERCHANNELS

A droite: l'irrigation des zones viticoles joue un rôle de plus en plus important. MONTANAQUA



III. 25: consommation d'eau consacrée à l'irrigation des prairies et des zones viticoles à Montana. MONTANAQUA

«Les prés irrigués de manière traditionnelle par ruissellement des pentes présentent en moyenne une très grande variété d'espèces. Ces prestations supplémentaires en faveur de la variété des espèces et de la diversité du paysage devraient être indemnisées.»

Raimund Rodewald, WATERCHANNELS, Fondation suisse pour la protection et l'aménagement du paysage. Visionner le DVD pour en savoir plus.

Quel est le volume d'eau requis par ces bisses?

MONTANAQUA a calculé la consommation d'eau des différents groupes d'utilisateurs dans la région de Crans-Montana-Sierre (VS). Le principal système d'approvisionnement est un bisse construit en 1490. En été, l'irrigation constitue la principale consommation d'eau. Des fluctuations considérables sont toutefois constatées en fonction des années. L'irrigation est utilisée pour les prairies, mais aussi dans les zones viticoles des plaines. Une utilisation plus intensive des surfaces par les agriculteurs modifie la structure de la gestion de l'eau. Les coopératives traditionnelles doivent répartir l'eau de façon équitable. Lors de la sécheresse de l'année 2003, l'eau à manqué pendant plusieurs semaines. Les méthodes de réglementation traditionnelles de répartition de l'eau ont montré leurs limites et ont dû être repensées.

Les arbres forment des cernes plus larges

Dans les forêts du Valais, la sécheresse pose un véritable problème. Les bisses, qui acheminent l'eau des torrents de haute montagne, jouent donc un rôle non négligeable pour la forêt. L'eau s'infiltré passivement dans le sol via les bisses. Cette eau perdue pour l'agriculture est utile pour la forêt et enrichit les sols forestiers en humus et en éléments nutritifs. La croissance radiale des arbres (cernes annuels) est donc directement touchée sur les sites secs. Les arbres longeant les bisses possèdent des cernes nettement plus larges que les arbres de la forêt environnante. De même, ils présentent des aiguilles et des pousses bien plus longues.

Importance écologique et paysagère

Les prairies irriguées présentent une grande diversité de types de plantes et ce, qu'elles soient irriguées selon des méthodes traditionnelles ou par le biais de systèmes d'arrosage par aspersion. La plupart du temps, les systèmes d'arrosage par aspersion puisent également l'eau des bisses ou de canaux d'irrigation.

Le passage de l'irrigation traditionnelle par ruissellement à l'irrigation par aspersion n'a aucune influence sur la diversité des espèces dans les prairies dans la mesure où le rythme et l'étendue de l'irrigation restent identiques et que l'utilisation n'est pas intensifiée. Concernant la densité des oiseaux nicheurs, la différence entre les méthodes d'irrigation traditionnelle et l'arrosage par aspersion est également insignifiante.

Il est possible d'établir un lien avec l'intensité de l'utilisation agricole. Les études de cas réalisées en Basse-Engadine (GR) et dans le Val Venosta (I, Tyrol du Sud) ont montré que la reprise de l'irrigation de zones n'ayant pas été irriguées pendant des décennies allait de pair avec une intensification de l'utilisation (coupe précoce, fertilisation), ce qui a des répercussions négatives sur les oiseaux nicheurs.

Là où l'irrigation ne fonctionne plus, les prairies ne sont plus fauchées. Les variétés d'herbes et de fleurs caractéristiques ou encore les escargots disparaissent alors rapidement. Le risque d'enfrichement n'est pas à exclure. Le paysage perd sa valeur touristique. Cette situation également comporte des risques de feu de forêt ou de glissement de terrain.

La valeur de ces paysages d'irrigation alpins réside dans «l'ensemble» composé de prairies irriguées de façon intensive par aspersion, de surfaces irriguées selon la méthode traditionnelle et de prairies sèches non irriguées. Si l'on entend conserver ces paysages dans un état idéal du point de vue écologique et touristique, il est important de ne pas intensifier l'utilisation du sol ni l'irrigation. Les témoignages culturels offerts par les systèmes d'irrigation séculaires restent visibles là où les canaux d'irrigation sont ouverts.

Modernisation et rendement hydraulique efficace de l'irrigation

La mutation structurelle de l'agriculture et le changement climatique représentent d'immenses défis pour ces systèmes d'irrigation. L'efficacité des bisses doit être améliorée. Ainsi, le «tournus» traditionnel, encore largement répandu aujourd'hui et basé sur les heures d'eau



et le système de rotation, est bien ancré socialement; néanmoins, il s'agit d'un dispositif rigide en ce sens qu'il régle l'irrigation indépendamment de la situation climatique et météorologique.

Autre aspect: la consommation d'eau. Elle est jusqu'à trois fois plus élevée dans le cas de l'irrigation par canaux traditionnels (irrigation par ruissellement) que par des systèmes d'arrosage par aspersion. L'utilisation d'asperseurs nécessite moins d'eau dans les bisses ouverts, ce qui contribue à préserver l'ouvrage et à réduire les coûts. Il n'est en effet pas nécessaire de procéder à un tuyautage ni d'étancher les canaux.

Un rendement hydraulique efficace de l'irrigation peut également être obtenu avec un «tournus» traditionnel. Il est prouvé historiquement que, dans les situations extrêmes menaçant les récoltes, le «tournus» était, déjà autrefois, parfois considéré comme trop strict. Il n'y a pas lieu de reprendre rigoureusement les heures d'eau traditionnelles dans le cadre de l'installation de dispositifs d'arrosage par aspersion, car ceux-ci présentent une perte d'eau nettement inférieure à celle de l'irrigation par ruissellement. Les heures d'eau ne sont donc pas appliquées. Il est possible de vérifier dans quelle mesure les exploitants sollicitent des volumes d'eau supplémentaires de manière non bureaucratique pendant les périodes sèches.

Quelle structure permet de renforcer la durabilité?

Les coopératives de bisses traditionnelles ne sont plus partout garantes de la durabilité de cette forme d'utilisation de l'eau. Elles doivent être repensées et s'ouvrir aux nouveaux besoins du tourisme et de protection de la nature, du paysage et du patrimoine. Par ailleurs, les détenteurs des droits d'usage de l'eau n'utilisent plus l'eau eux-mêmes et en concèdent les droits à des gérants, ce qui pose problème et menace les travaux communautaires. En Valais, il existe déjà différentes formes d'organisation de l'irrigation également chargées de l'entretien des bisses. En maints endroits, il est nécessaire d'instaurer un dialogue pour traiter la question de la modernisation des structures traditionnelles. Ce faisant, il est important d'intégrer les acteurs directement intéressés par le maintien et l'utilisation des systèmes. La présence de spécialistes possédant le savoir-faire requis est tout aussi importante. Les bénéficiaires de ces systèmes d'irrigation doivent participer aux frais et aux travaux d'entretien.

Il est judicieux de promouvoir ce système dans les lieux où il existe de fortes corporations. Si les intérêts des membres des organismes changent, ils seront alors davantage disposés à discuter de réformes structurelles. La reconnaissance, voire l'indemnisation des prestations écosystémiques d'intérêt général fournies par les bisses traditionnels, peut contribuer à inciter les acteurs à poursuivre sur cette voie.

A gauche: l'arrosage par aspersion ne diminue pas la valeur écologique des sols. WATERCHANNELS

Au milieu: la valeur du paysage naît de la coexistence de différentes utilisations. WATERCHANNELS

A droite: là où l'exploitation agricole et l'irrigation sont intensifiées, la diversité écologique se perd (Basse-Engadine). Photo Roman Graf

«On ne peut pas entretenir ce paysage de bisses pendant 1000 ans et dire soudain: «Et maintenant, débrouillez-vous.»»

*Orlando Schmid,
agriculteur à Ausserberg.*

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Instruments propres à l'agriculture

Les paiements directs, notamment les contributions à la qualité du paysage, peuvent favoriser la durabilité de la gestion de l'eau et la diversité écologique et agricole. Les agriculteurs ainsi que les services cantonaux de l'agriculture concluent des contrats qui définissent déjà de nombreux détails relatifs à l'utilisation. Il serait légitime de fixer aussi les règles d'utilisation de l'irrigation dans ces contrats. Etant donné que ces contrats sont conclus pour une durée déterminée de huit ans, ils devraient être liés à un contrat-cadre intégrant le périmètre d'irrigation dans son intégralité.

Au nombre des instruments figurent également les paiements de compensation écologique, qui peuvent être mis en œuvre dans le cadre de la nouvelle réforme de l'agriculture. Ils pourraient permettre d'assurer une exploitation et une irrigation extensives. Une contribution supérieure pourrait être versée pour l'irrigation traditionnelle, étant donné que, comme le montre WATERCHANNELS, celle-ci donne naissance à des valeurs écologiques et paysagères.

Les projets d'amélioration de Rohrberg (VS) et de Lalden (VS) pourraient devenir des modèles de nouvelle pratique. Il est envisagé de fixer, dans l'arrêté d'amélioration, la répartition des eaux au niveau de la parcelle, c'est-à-dire les surfaces à arroser par aspersion, celles à irriguer par ruis-

sellement et celles à ne pas à irriguer et ce, pour une durée de 20 ans. Les ouvrages d'amélioration ne sont pas encore en vigueur, car certains conflits entre participants doivent encore être réglés.

Points restant à traiter

L'efficacité de l'utilisation de l'eau n'a pas encore fait l'objet de quantifications suffisantes. Quels sont les besoins d'irrigation minimaux? Quel est le volume d'eau perdu dans les canaux? Il est nécessaire de réaliser davantage d'observations à long terme pour quantifier les processus et les répercussions écologiques de ces systèmes d'irrigation.

Recommandations

Il est important de documenter les expériences riches et variées réalisées dans le cadre de projets fructueux visant le renforcement et la modernisation durables de ces systèmes d'irrigation.

La recherche montre que ces systèmes jouent un rôle important pour la nature et le paysage. La Confédération et les cantons doivent donc veiller à ce que les prestations supplémentaires vouées à la conservation des paysages d'irrigation aux structures diversifiées et du bien culturel que constituent les bisses soient réglées dans le cadre de la nouvelle politique agricole.

Tab. 6: avantages et inconvénients des différents modèles d'exploitation. WATERCHANNELS

Modèle	Atouts	Obstacles
Traditionnel	Rapport direct de l'utilisateur à l'eau et à l'installation (bénéfice, dommage); responsabilité; compétences; mécanismes éprouvés dans la résolution de conflits	Somme de travail élevée pour les agriculteurs exerçant une activité accessoire; intégration difficile d'autres utilisations (p. ex. tourisme); le financement est un problème fréquent.
Diversifié, impliquant différents acteurs	Participation de différents acteurs intéressés; large soutien de la société	Effort de coordination considérable; peu d'expérience en matière de conflits; les agriculteurs se sentent ignorés.
Organismes publics (commune)	Vue d'ensemble des différents intérêts; organisation homogène; lien direct avec les financements publics	Coûts supplémentaires pour les communes; les usagers de l'eau délèguent leur responsabilité à un organisme tiers.

Les régions face à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation

Dans les villes et agglomérations, les utilisations et les installations de gestion des eaux urbaines influencent considérablement le régime des eaux et l'état des cours d'eaux. En maints endroits, des décisions en matière d'investissement, qui se répercuteront sur la marge de manœuvre des générations futures, s'imposent. Il est donc indispensable de disposer de bases solides. La hausse des températures de l'eau est un facteur de stress pour la qualité des cours d'eau, déjà soumis à une forte pression.

Un développement rapide

Les agglomérations se développent à une allure fulgurante. Au cours des douze dernières années, la surface urbanisée en Suisse a augmenté en moyenne d'environ 5,8 hectares (soit huit terrains de football) par jour. Dans toutes les agglomérations, la population reçoit une eau de première qualité. Les installations d'épuration des eaux usées garantissent l'élimination et le traitement hygiéniques et écologiques des eaux usées. La Suisse compte désormais près de

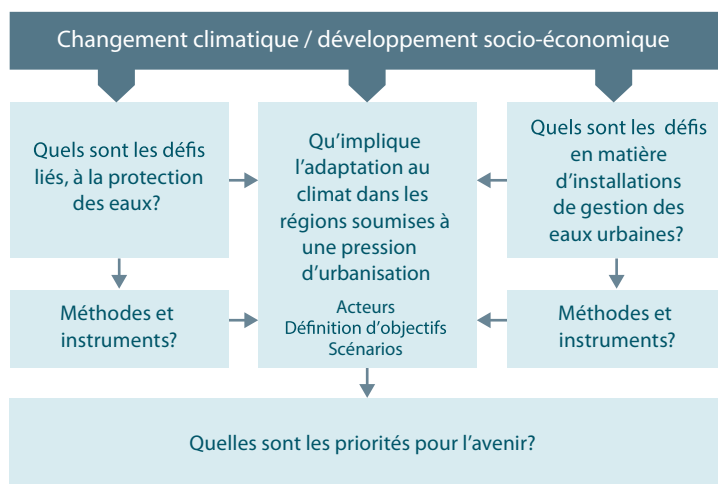
49 000 km de conduites d'eau potable et 47 000 km de canalisations publiques. S'y ajoutent des conduites privées d'une longueur approximativement identique. La valeur de remplacement de nos infrastructures hydrauliques est estimé à 220 milliards de francs.

Les réseaux ont une durée de vie élevée, les spécialistes tablent sur une moyenne de 80 ans. Ils doivent être rénovés en maints endroits. Les décisions à prendre aujourd'hui se répercuteront sur les générations futures pendant des décennies. Les incertitudes liées au développement des conditions-cadres sont élevées, en particulier dans les régions soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation. Il est impossible d'effectuer des prévisions relatives à la population, à l'économie ou à la technologie d'ici à 2050, et encore moins d'ici à 2100. Le changement climatique joue également un rôle dans ce contexte.

La protection des eaux est confrontée à des problèmes similaires dans ces régions. Les eaux de pluie issues des agglomérations, les rejets en provenance des canalisations et les eaux usées traitées polluent les cours d'eau. Si aucune contre-mesure n'est prise, l'apport de sédiments fins (érosion) et de substances, provenant par exemple de la fertilisation ou de produits phyto-

Les données relatives à l'urbanisation proviennent de l'Office fédéral de la statistique (superficie, environnement).

La Suisse estime à 176 milliards de francs l'investissement nécessaire dans les installations de gestion des eaux urbaines au cours des 40 prochaines années. Près de 46% de ces coûts devront être pris en charge par les pouvoirs publics.



III. 26: les régions face à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.

«Nous disposons désormais de modèles de détérioration des conduites d'eau potable et des canalisations. Leur spécificité est qu'ils peuvent s'appliquer même dans des petites communes, qui n'ont que peu de données.»

Max Maurer, SWIP, Eawag.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

sanitaires, augmentera avec l'intensification de l'utilisation des sols. Dans quelle mesure les espèces, populations et communautés issues des écosystèmes aquatiques sont-elles touchées par ces modifications? Quels sont les problèmes supplémentaires engendrés par le changement climatique?

Les administrations, les ingénieurs et les écologistes ont besoin d'instruments de planification qui leur permettent de faire face à ces incertitudes. Les plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) et les plans généraux d'alimentation en eau (PGA) ne tiennent pas systématiquement compte des développements futurs ni des incertitudes quant à l'avenir. A l'heure actuelle, ils se basent la plupart du temps sur une extrapolation de l'état réel vers l'avenir. La collaboration entre les acteurs concernés est encore peu développée.

Aspects étudiés par le PNR 61

Les chercheurs ont analysé les problèmes liés à la gestion durable de l'eau dans les régions devant faire face à une pression élevée de l'urbanisation et des besoins d'utilisation et ont élaboré des méthodes et des instruments. Ceux-ci renferment le potentiel requis en vue de renforcer la gestion des eaux urbaines et la protection des eaux dans les agglomérations. La recherche s'est focalisée sur le bassin versant de la rivière Mönchaltorfer Aa (ZH).

Le projet SWIP s'est penché sur les méthodes de planification à long terme d'infrastructures hydrauliques durables, abordant en priorité les systèmes d'approvisionnement en eau potable et d'évacuation des eaux. Les approches développées ont été testées dans une étude de cas. Si la méthodologie repose sur des bases solides, son application requiert plus d'expériences. Le projet IWAQA a analysé les nouveaux risques prévisibles dans le domaine de la protection des eaux et le mode d'évaluation de l'état écologique des eaux. Les méthodes développées en ce sens sont déjà appliquées dans plusieurs cantons.

Dans ces deux projets, des chercheurs issus des domaines de l'ingénierie, des sciences naturelles

et des sciences sociales ont travaillé en étroite collaboration. Les équipes ont montré comment les «trade-offs» devaient être recensés, les répercussions négatives sur l'environnement réduites et les infrastructures hydrauliques planifiées à l'avenir. Les projets ont également développé des moyens permettant de faire face aux restrictions en matière de données et aux incertitudes quant aux développements futurs. Un autre axe important de ces projets a consisté à promouvoir l'acceptation des processus de décision.

Fragmentation des rôles et des compétences

Le projet SWIP a effectué une analyse des acteurs ainsi que des réseaux sociaux concernés. Il en est ressorti une fragmentation très forte des rôles et des compétences dans le domaine de la gestion des eaux urbaines. Dans la région de la Mönchaltorfer Aa (ZH), 41 acteurs ont été recensés comme participant à la planification des infrastructures d'approvisionnement en eau et d'épuration des eaux usées ou comme étant concernés par les décisions y afférentes. Il a été montré que, même dans les zones densément peuplées, les compétences relatives à l'approvisionnement en eau et à l'épuration des eaux usées sont rarement regroupées, en particulier quand ces zones sont réparties sur plusieurs communes. Il y a également peu d'échanges entre les acteurs locaux, cantonaux et nationaux.

Cette fragmentation des rôles et des compétences constitue un obstacle à la planification stratégique de l'infrastructure hydraulique, qui serait pourtant importante dans les zones faisant face à une pression accrue de l'urbanisation et des besoins d'utilisation. Il est nécessaire de garantir des visions communes et une harmonisation des objectifs. Le projet SWIP montre que, dans la région de la Mönchaltorfer Aa (ZH), le Service des déchets, de l'eau, de l'énergie et de l'air du canton de Zurich remplit déjà un rôle d'intégration. Il présente le potentiel le plus grand en matière de coordination entre les acteurs. Au niveau local, les communes jouent un rôle intégrateur important.



Collaboration et harmonisation requises

A l'heure actuelle, chaque acteur se positionne, dans le cadre de la planification de son infrastructure, en fonction de ses objectifs spécifiques, parfois définis à court terme. Les services d'approvisionnement en eau potable doivent être en mesure de produire à tout moment une quantité d'eau suffisante et de première qualité pour les ménages, l'irrigation des jardins ou la protection contre les incendies. Le secteur des eaux usées a pour objectif d'évacuer les eaux usées et pluviales. Aucune planification commune n'existe entre ces deux types de services. Ce mode de planification se heurte à des limites dans les régions subissant la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation. Le projet SWIP a donc développé et testé de nouveaux instruments. L'approche mise en œuvre en matière de planification permet une planification plus proactive des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement. Elle favorise la participation de l'ensemble des participant(e)s et des personnes intéressées. Les acteurs au niveau communal, mais aussi les spécialistes cantonaux et nationaux participant au projet se sont entendus sur des objectifs communs, été définis de sorte à pouvoir être mesurés.

Des scénarios pour remplacer les prévisions

L'un des premiers problèmes concerne les prévisions. En raison des nombreuses incertitudes, il est difficile d'effectuer des prévisions exactes sur

l'avenir dans le domaine de la gestion des eaux urbaines, en particulier dans les régions soumises à une forte pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation. Une nouvelle approche s'impose: il faut penser en termes de scénarios. En collaboration avec des spécialistes, le projet SWIP a développé trois scénarios concernant l'avenir pour l'année 2050. Y sont traitées des variables telles que le changement climatique, la société, l'économie et la technologie de la gestion des eaux urbaines. Les trois scénarios sont les suivants:

- ▶ «Boom»: la société et l'économie sont en pleine expansion; la population connaît une croissance effrénée; les besoins en eau potable augmentent tandis que l'industrie et l'agriculture perdent en importance;
- ▶ «Doom»: la Suisse est économiquement affaiblie; la population diminue légèrement; la consommation d'eau diminue; il y a moins d'argent pour financer les infrastructures;
- ▶ la «croissance qualitative»: la Suisse reste compétitive; la priorité est accordée à la croissance qualitative; la croissance démographique est modérée; les normes de protection de l'environnement sont élevées.

Des représentants de quatre communes ont participé à l'atelier consacré aux scénarios. Les participants ont apprécié cet atelier, qui leur a permis, de laisser libre cours à leur créativité. L'atelier a été décisif en ce sens qu'il a permis d'éveiller l'intérêt des acteurs de la région pour le projet SWIP et de

A gauche: bassin versant de la rivière Mönchaltorfer Aa (ZH). Dans les bassins versants proches des villes, le régime des eaux est marqué par les humains. La pression d'utilisation joue un rôle considérable dans le changement climatique. IWAQA

Au milieu: il faut entretenir 20 mètres de conduites par habitant, ce qui représente un investissement de taille. SWIP

A droite: l'économie des eaux urbaines concerne de nombreux acteurs et de nombreux responsables. Le projet SWIP a réalisé avec eux des ateliers destinés à élaborer des scénarios pour le futur en y intégrant différents objectifs. Photo Max Maurer

Les projets du PNR 61 ont étudié la région de la Mönchaltorfer Aa (ZH), une région où la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation est particulièrement forte.

lancer un processus de planification commune. Les spécialistes ont également prévu un scénario statu quo. Ils ont notamment apprécié le fait de pouvoir également réfléchir à des propositions non conventionnelles.

Exemple: Mönchaltorfer Aa (ZH)

Les chercheurs ont transposé les scénarios sous forme de cartes d'utilisation du sol dans le bassin versant de la Mönchaltorfer Aa (ZH). Ces cartes apportaient une base essentielle pour comprendre et quantifier les modifications susceptibles d'intervenir au niveau du régime des eaux, de la gestion des eaux urbaines et de la protection des eaux.

Les scénarios présentent la panoplie des développements possibles d'ici à 2050. Dans le scénario «Boom», les chiffres relatifs à la croissance de la population passent de 24 200 aujourd'hui à 200 000. Le scénario «Croissance qualitative» table sur une population de 29 000 habitants seulement. Il ne s'agit là que d'une représentation des développements possibles. Nul ne peut prévoir la probabilité de survenue de ces développements. Cependant, les scénarios constituent un bon élément de base pour la planifi-

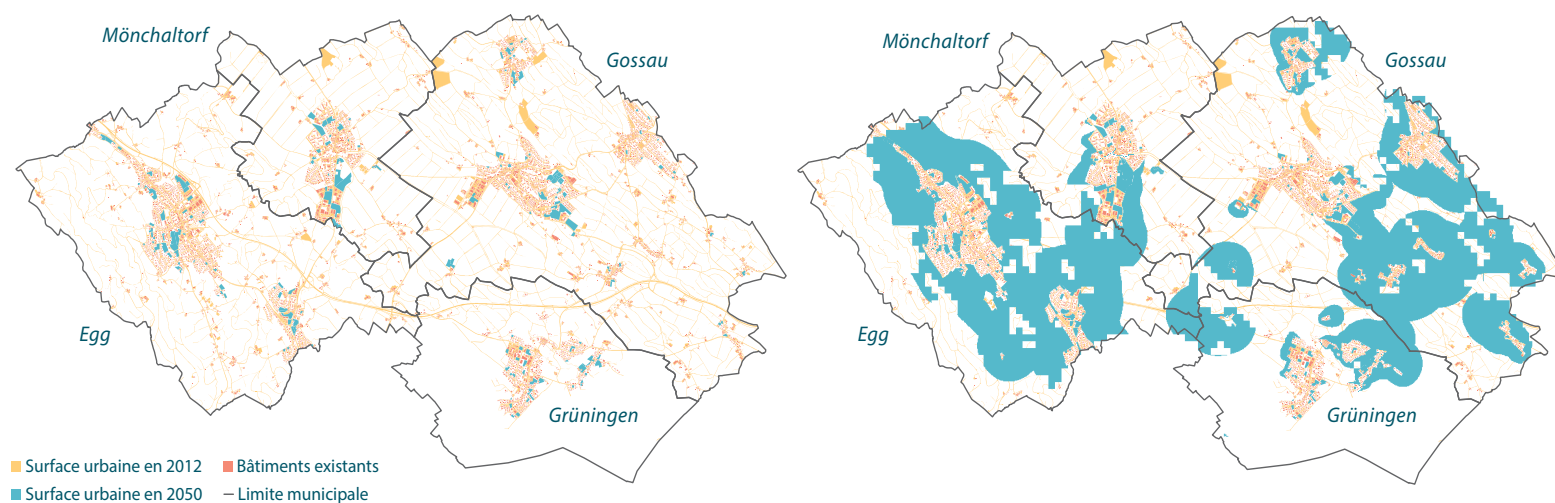
cation. Ils permettent de vérifier la solidité des possibilités d'action par rapport aux développements potentiels.

Changement climatique et évacuation des eaux urbaines

Outre le développement socio-économique, le changement climatique constitue un autre facteur d'insécurité. Le réseau d'évacuation des eaux urbaines est conçu de sorte à pouvoir recueillir les précipitations en cas d'épisodes pluvieux extrêmes de quelques minutes. La planification se base sur la fréquence de ces épisodes. Avec le changement climatique, on pourrait assister à l'avenir au renforcement et à la multiplication d'événements pluvieux intenses. Cette situation pourrait alors conduire à une congestion plus fréquente des systèmes. Dans un tel cas, les eaux usées débordent par les regards dans les rues ou les caves. Il faut également s'attendre à un déversement plus fréquent d'eaux usées non traitées dans les lacs et les rivières pour détester les canalisations surchargées.

Dans les pays nordiques, les épisodes pluvieux responsables du débordement des canalisations ont donné un signal climatique clair. Le SWIP a

III. 27: selon le scénario, les conditions-cadres définies pour la planification des infrastructures dans le bassin versant de la Mönchaltorfer Aa jusqu'en 2050 évoluent très différemment: scénario «Boom» (à droite) et «Croissance qualitative» (à gauche). SWIP



examiné cet aspect pour la région faisant l'objet de l'étude de cas dans le canton de Zurich. Il est apparu que la variabilité des épisodes pluvieux intenses était déjà extrêmement forte dans les conditions climatiques actuelles. Dans ce contexte, l'influence du changement climatique n'est pas déterminante. Un prochain projet se penchera sur la question de savoir si ce phénomène s'applique également à d'autres régions de la Suisse.

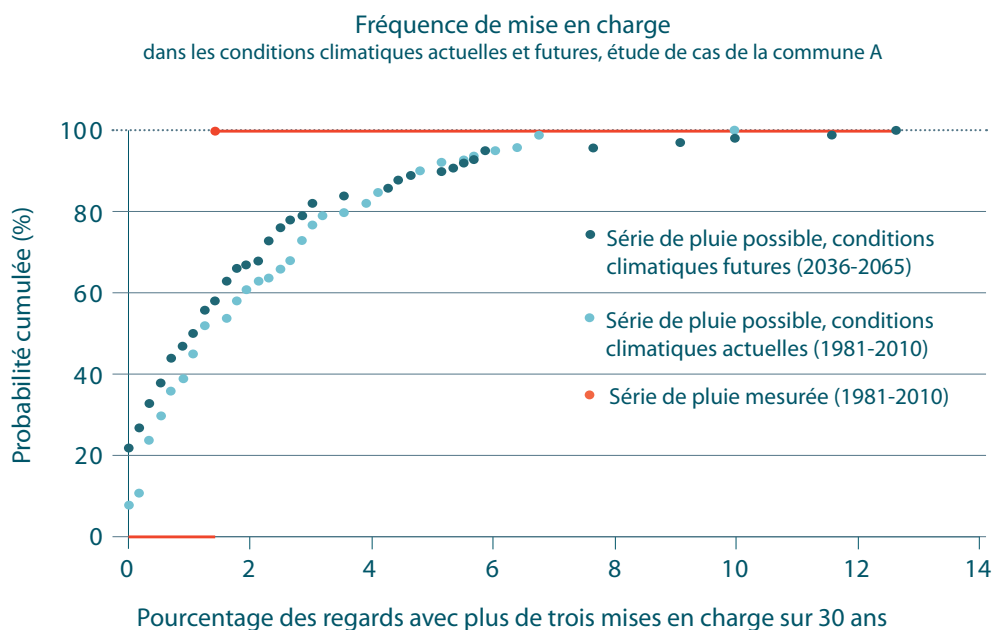
S'agissant de la planification actuelle, le SWIP donne à penser que les incertitudes concernant le développement socio-économique sont bien plus délicates que les conséquences éventuelles du changement climatique. Cette estimation se base sur les calculs effectués à partir de dix modèles climatiques régionaux différents. Ceux-ci représentent les meilleures connaissances dont on dispose actuellement sur les répercussions du climat, bien qu'elles restent très limitées. Il est fort possible que de nouveaux enseignements issus de la recherche climatique viennent relativiser ces estimations.

Choix optimal des périodes d'assainissement

La planification des infrastructures doit certes tenir compte de l'adaptation au changement climatique, mais elle doit également intégrer la planification d'assainissement à long terme des conduites d'eau potable et des réseaux de canalisations, ce qui nécessite des prévisions fiables sur leur état physique des installations. Si d'autres pays possèdent des modèles permettant de prévoir l'état, la plupart de ces modèles sont inutiles pour la Suisse, car ils ne correspondent pas aux réalités du pays. En outre, la Suisse manque fréquemment de données pour l'exploitation des modèles.

Il est notamment important de pouvoir prédire le vieillissement et la dégradation des conduites. Le projet SWIP est parvenu à élaborer de nouveaux modèles à cet effet. Ceux-ci permettent de réaliser de meilleures prévisions et simulations sur l'état, la dégradation et, partant, la performance des conduites et des canalisations. Ces modèles sont exploitables même avec des séries de données incomplètes, ce qui est particulièrement

L'imperméabilisation des sols augmente. Quelque 80% des eaux de pluie tombant sur les surfaces asphaltées s'écoulent directement dans les canalisations. De fortes précipitations entraînent l'engorgement du réseau de canalisations et des stations d'épuration des eaux usées.



III. 28 : simulation de la fréquence de mise en charge des canalisations lors d'événements pluvieux actuels et futurs dans un bassin versant de la Mönchaltorfer Aa. Entre les deux courbes, on ne décèle aucun impact significatif du changement climatique sur les performances des canalisations. L'illustration représente la probabilité, selon laquelle une partie des regards risquent d'être mis en charge plus de trois fois et de dépasser ainsi la fréquence autorisée. Dans le bassin versant, la probabilité que 5% au maximum des regards soient surchargés au-delà du seuil autorisé s'élève à env. 90%.

«Nous avons constaté que l'analyse des prises de décision est d'une grande aide. Il est essentiel d'associer les préférences et les opinions des acteurs aux données objectives.»

Judit Lienert, SWIP, Eawag.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

pratique dans les petites communes, majoritaires en Suisse. Ces communes ne collectent pas les données concernant l'état des installations et les dommages que celles-ci subissent, ou ne le font que depuis quelques années. L'approche développée par le projet SWIP permet d'intégrer dans les modèles les estimations des spécialistes ou les données provenant d'autres systèmes de canalisations. Les prévisions ainsi obtenues sont plus fiables.

Evaluation des possibilités d'action

Le projet SWIP a élaboré différentes options susceptibles de favoriser le caractère durable des infrastructures hydrauliques. Ces options ont été développées dans le cadre d'un atelier auquel participaient les acteurs concernés, puis évaluées selon la méthode d'«analyse décisionnelle multicritère». Cette méthode permet de regrouper toutes les données et informations disponibles et intègre également les préférences subjectives des différentes parties impliquées.

Les acteurs se sont mis d'accord sur un système cible. Outre des objectifs en matière de coût, de qualité et de protection de l'environnement, ce système comporte également des objectifs de durabilité tels que l'équité intergénérationnelle ou l'acceptabilité sociale. Grâce à l'application d'indicateurs et d'attributs, ces objectifs ont été formulés de façon à pouvoir être mesuré. Ainsi, les chercheurs ont pu mesurer l'adéquation des options aux différents objectifs partiels. Des entretiens ont également été réalisés avec les acteurs dans le cadre de l'analyse décisionnelle multicritère. L'une des questions concernait par exemple l'importance à accorder à la réalisation d'un objectif par rapport à un autre.

Palmarès des solutions

Pour la région de la Mönchaltorfer Aa (ZH), onze solutions alternatives pour l'approvisionnement en eau ont été élaborées et évaluées; elles présentent diverses formes d'organisation, stratégies de gestion et caractéristiques techniques. Une deuxième étude a été consacrée aux options possibles pour les systèmes d'évacuation des eaux.

La tendance relativement répandue qui consiste à attendre que les conduites soient défectueuses pour les réparer apparaît souvent comme la solution la moins coûteuse. Mais d'après les résultats du projet SWIP, ce n'est pas forcément la solution la plus durable. En règle générale, les stratégies d'assainissement proactives sont à privilégier par rapport à la solution la moins coûteuse, car elles permettent d'atteindre plus efficacement différents objectifs considérés comme importants par les acteurs. Ainsi, pour la plupart des acteurs de l'étude de cas de la Mönchaltorfer Aa (ZH), l'objectif principal ne consiste pas nécessairement à garantir des coûts bas. Le bon approvisionnement en eau, l'évacuation sûre des eaux usées, la protection de l'environnement et l'équité intergénérationnelle sont, à leurs yeux, des critères bien plus importants.

Les applications des méthodes élaborées par le projet SWIP dans le secteur des eaux usées ont montré que les solutions locales pouvaient également se révéler plus durables à long terme que les solutions centralisées. Cela étant, ces résultats sont spécifiques à chaque cas. Les résultats du projet SWIP s'appliquent au bassin versant de la Mönchaltorfer Aa (ZH). Ils soulèvent des questions à considérer dans la planification, mais peuvent rarement être mis en œuvre directement. D'autres facteurs, tels que les résultats de négociations, la collaboration avec l'office des ponts et chaussées lors des assainissements de conduites, sont également importants.

Pollution chimique des cours d'eau

Les paysages suisses sont caractérisés par une structure topographique très découpée et déterminés par une multitude d'utilisations. Mais les nombreuses substances et voies d'apport altèrent la qualité des eaux. Le recensement de ces voies dans les régions soumises à une forte pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation constitue un véritable défi.

La pollution des eaux découle de sources ponctuelles (par exemple les stations d'épuration des eaux usées) et d'apports diffus. Dans les apports diffus de substances, les produits phytosanitaires



et les métaux lourds prédominant. Les écosystèmes aquatiques sont très sensibles à ces charges polluantes. Les mesures indiquent que les charges polluantes sont très élevées et dépassent souvent les valeurs limites pendant les mois de juin et de juillet notamment. Des charges polluantes élevées peuvent en particulier surgir dans les petits ruisseaux.

Le projet IWAQA a tenu compte de cette complexité. Il a permis de procéder à une observation globale de la qualité de l'eau. Différents modèles ont été combinés entre eux afin de comprendre comment le changement climatique ou les modifications prévues en matière d'utilisation du sol pouvaient se répercuter sur la qualité de l'eau et sur l'état écologique des cours d'eau.

Quelles sont les modifications prévisibles?

Jusqu'à l'horizon 2050, le changement climatique ne devrait à lui seul pas avoir beaucoup de répercussions sur la qualité chimique de l'eau, à l'exception du lessivage accru de nitrates et de la hausse possible de l'érosion. Ces deux phénomènes pourraient être occasionnés par des précipitations hivernales accrues. Par ailleurs, les températures de l'eau devraient de façon quasiment certaine augmenter de plusieurs degrés au cours des prochaines décennies. Le boisement des rives, les mesures d'ombragement et les prélèvements d'eau peuvent influencer sur les fluctuations de température dans les cours d'eau.

Les modifications de facteurs de stress peuvent entraîner la disparition de certaines espèces. Les prévisions effectuées à cet égard sont plus sûres. Ainsi, l'augmentation de la température de l'eau due au changement climatique laisse supposer que la truite de rivière disparaîtra de nombreux cours d'eau sur le Plateau. En parallèle, c'est essentiellement l'utilisation du sol qui déterminera la qualité future de l'eau. Ce phénomène a pu être démontré par le projet IWAQA, en dépit de toutes les incertitudes dont sont empreintes les prévisions.

La lutte contre les apports diffus de substances doit intégrer un vaste éventail de mesures, allant de la réduction des charges polluantes à la source – notamment le renoncement aux biocides dans les produits de ravalement de façades – jusqu'à la prévention des érosions pluviales, par exemple par une meilleure infiltration de l'eau dans les sols agricoles.

Facteurs de stress pour l'état écologique des cours d'eau

Il est difficile d'établir des prévisions car, la plupart du temps, les modifications de l'état écologique des cours d'eau ne résultent pas directement des modifications de certaines conditions-cadres – par exemple, la température ou les apports de substances. La qualité de l'eau peut néanmoins représenter un critère essentiel dans ce cadre. Différents facteurs de stress, tels que de nouveaux pesticides et la hausse de la température,

A gauche: Mönchaltorfer Aa (ZH). La gestion durable d'eaux polluées de ce type nécessite des objectifs et des priorités clairement définis. En ce sens, le projet IWAQA a conçu de nouveaux instruments. IWAQA

Au milieu: la recherche d'accompagnement écologique gagne de plus en plus en importance. Il est indispensable de contrôler les répercussions des mesures mises en œuvre pour la protection des eaux. IWAQA

A droite: li est important que tous les services coopèrent. SWIP

«A mes yeux, il est très important de ne pas confiner les résultats aux hautes écoles. Nous disposons des canaux appropriés pour assurer la fonction de transfert: les services cantonaux compétents et les associations spécialisées (VSA, SSIGE etc.).»

*Martin Würsten, canton de Soleure,
Conseil consultatif.
Visionner le DVD pour en savoir plus.*

agissent en parallèle sur les cours d'eau et les écosystèmes aquatiques. Chaque espèce présente une sensibilité spécifique aux différents facteurs de stress. Les processus d'adaptation génétique peuvent jouer un rôle pendant les périodes étudiées par le PNR 61 (2050, 2085). Hormis en cas d'accident, les concentrations de substances se situeront demain, comme aujourd'hui, à un niveau non susceptible de provoquer un effet aigu ou mortel chez les organismes. Il apparaît clairement qu'il est nécessaire d'investir dans l'amélioration de la qualité chimique de l'eau afin de parvenir à un état écologique satisfaisant des cours d'eau.

Gestion intégrée de la qualité de l'eau

Le contrôle de l'utilisation du sol et de l'agriculture ainsi que les infrastructures y associées, par exemple les stations d'épuration des eaux usées (STEP) en zone urbaine, constituent encore à l'heure actuelle le principal instrument de gestion de la qualité de l'eau dans les zones soumises à une forte pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation. Les mesures permettant aujourd'hui d'obtenir une bonne qualité de l'eau conserveront leur fonction à l'avenir. Selon la croissance démographique, la pression urbaine et le réchauffement climatique, il se peut toutefois que certaines mesures gagnent en importance par rapport à aujourd'hui, par exemple l'ombrage des berges avec des arbres. Pour assurer la durabilité de la gestion de l'eau et de l'exploitation des cours d'eau, il convient de tenir compte simultanément d'une multitude d'exigences socialement légitimes. Afin d'établir un dialogue autour des mesures de protection des eaux, il est important que les acteurs nomment leurs objectifs et indiquent des ordres de grandeur concrets et axés sur la pratique. A cet effet, le projet IWAQA a élaboré une méthode permettant d'aborder des conflits d'objectifs complexes en lien avec la protection des eaux. Des travaux visant à transposer les méthodes et modèles élaborés dans le cadre de l'IWAQA à l'ensemble du Plateau sont actuellement en cours. Ils donnent ainsi naissance à des éléments

de base permettant de mieux évaluer les problèmes liés aux micropolluants. Les mesures telles que l'élimination de micropolluants dans les stations d'épuration des eaux usées (stade d'épuration n°4) sont essentielles pour l'approvisionnement en eau potable. En ce qui concerne l'écologie des cours d'eau en revanche, elles présentent une importance moindre. Seuls 10% du réseau des cours d'eau suisses sont affectés par les eaux usées. Cette épuration ne permet toutefois pas d'éliminer les micropolluants issus de l'agriculture.

Amélioration des programmes grâce à la recherche d'accompagnement écologique

La Suisse introduit des mesures à grande échelle relevant de la loi fédérale sur la protection des eaux. Citons, à titre d'exemple, le développement susmentionné de certaines stations d'épuration (stade d'épuration n°4) ou la renaturation d'importants tronçons de cours d'eau. La mise en œuvre de ces programmes demandera plusieurs décennies. Les spécialistes estiment qu'il est important d'étudier la réaction des cours d'eau aux mesures prises et d'en tirer des conclusions pour l'amélioration des programmes. Des études écologiques (recherche d'accompagnement) devront être menées à cet effet. De telles études ne peuvent être financées qu'en partie par les projets de construction.

Points restant à traiter

Les résultats du PNR 61 sont valables pour le bassin versant de la Mönchaltorfer Aa (ZH). L'application de ces méthodes dans d'autres régions aboutit à des résultats différents. En outre, les bases légales varient d'un canton à l'autre.

Dans la région de la Mönchaltorfer Aa (ZH), peu de décisions concrètes sont à l'ordre du jour. En outre, les solutions basées sur la négociation au niveau local jouent un rôle important. D'autres études de cas sont nécessaires pour perfectionner les méthodes élaborées dans le SWIP de sorte qu'elles soient transposables dans la pratique.

Par ailleurs, les données concernant l'écologie des cours d'eau sont insuffisantes. Il est donc difficile d'évaluer les conséquences du changement climatique et de l'intensification de l'utilisation sur les écosystèmes aquatiques ou d'élaborer des modèles en vue d'établir des prévisions.

Recommandations

Les organismes nationaux, cantonaux et régionaux ont la possibilité d'élaborer une vue d'ensemble. Il est important qu'ils soient les précurseurs d'un avenir durable en matière de gestion des eaux urbaines. Il convient de mettre en place des stratégies nationales et cantonales (concepts d'exécution) définissant la voie à suivre en matière de gestion des eaux urbaines et de protection des eaux.

Dans les bassins versants soumis à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation, une gestion régionale du développement et des cours d'eau s'impose.

Le renforcement de la recherche d'accompagnement écologique requiert une démarche coordonnée de la part de la Confédération et des cantons. Les chercheurs et les spécialistes de la pratique doivent y être intégrés.

Le reboisement des berges peut contribuer à atténuer les conséquences de la hausse des températures liée au changement climatique.

Eau potable issue des réserves d'eau souterraine

En Suisse, environ 80% de l'eau potable proviennent des eaux souterraines. La sécurité de l'eau est assurée. Il faut néanmoins s'attendre à des températures d'eau plus élevées en raison du changement climatique. Il est nécessaire de procéder à une observation à long terme de paramètres critiques afin d'identifier à temps les conséquences négatives pour l'approvisionnement en eau potable contenant une part élevée d'infiltration d'eau fluviale.

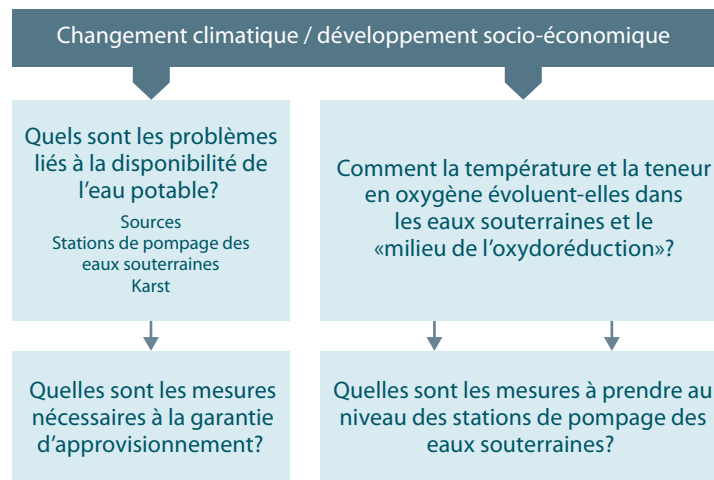
De quoi est-il question?

L'eau des aquifères alimentée par les rivières joue un rôle essentiel dans l'approvisionnement en eau potable de la population (à hauteur de 40%). Par ailleurs, 40% des approvisionnements proviennent des sources. Les eaux pluviales s'infiltrent dans les sources. De nombreuses installations sont conçues au niveau local et exploitées par des organismes ne possédant pas de connaissances spécifiques suffisantes. Ces derniers ont besoin d'indications compréhensibles

et fiables concernant les modifications à prévoir et la manière de les aborder.

Jusqu'à présent, peu d'études ont été réalisées en ce qui concerne l'influence du changement climatique sur les eaux souterraines et les approvisionnements en eau potable. En de nombreux endroits, les mesures et les données collectées sur de longues périodes font défaut. Or, celles-ci permettraient de déterminer, au moyen de méthodes statistiques, si le changement climatique aura des répercussions sur les eaux souterraines et, le cas échéant, dans quelle mesure. La question de la disponibilité (volume) de l'eau n'est pas la seule à devoir être traitée: les modifications liées à la qualité de l'eau sont tout aussi importantes, notamment les périodes de sécheresse prolongées associées à une raréfaction de l'eau ou la hausse des températures de l'eau. L'augmentation des températures contribue à faire baisser la teneur en oxygène de l'eau, ce qui entraîne des modifications chimiques dans les eaux souterraines.

La combinaison de différentes modifications découlant du changement climatique peut altérer l'eau potable ou les installations de production d'eau potable. L'exemple le plus probant est



III. 29: eau potable et eaux souterraines – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.



celui de la précipitation de fer ou de manganèse (incrustations ferriques) dans les installations de pompage. Une station de pompage alimentée par la Thur (ZH) a subi ce type de dommages pendant la canicule de l'été 2003. L'oxygène contenu dans les eaux souterraines était épuisé. Des hydroxydes de fer et de manganèse présents dans les aquifères se sont dissous et sont entrés en contact avec l'oxygène dans la station de pompage, entraînant l'apparition de précipitations et de dépôts dans les pompes et les conduites. La multiplication de ces dommages occasionne de grosses pertes financières et peut mener à l'abandon des installations. Comment évaluer le risque à l'avenir?

Nos rivières sont les milieux récepteurs des rejets d'eau usée traitée des stations d'épuration. Environ 10% du réseau des cours d'eau suisses sont affectés par les eaux usées. Etant donné que les eaux usées traitées contiennent des polluants, l'eau de rivière qui s'infiltre peut comporter un risque pour l'eau potable extraite des eaux souterraines issues essentiellement d'infiltrations d'eau fluviale. L'élimination des micropolluants dans les stations d'épuration des eaux usées (stade d'épuration n°4) réduit ce risque.

Aspects étudiés par le PNR 61

Les projets GW-TREND, SWISSKARST, GW-TEMP et RIBACLIM ont étudié l'avenir de l'approvisionnement en eau potable à l'aide de diverses méthodes, axant principalement les recherches

sur l'approvisionnement en eau dans les zones rurales. Les processus ont été étudiés sous forme de modèles.

Les projets GW-TREND et SWISSKARST se sont penchés sur la disponibilité des eaux souterraines. Les données et renseignements relatifs aux périodes de sécheresse historiques ont été décisifs pour calibrer les modèles visant à établir les prévisions relatives au changement climatique. Les résultats décrivent les conditions présentes sur le Plateau, dans les Préalpes et dans les régions karstiques. Le projet GW-TEMP a examiné l'influence du changement climatique sur les températures des eaux souterraines. Les changements de températures peuvent se répercuter sur la concentration en oxygène de l'eau. Pour la première fois en Suisse, un signal de changement climatique a pu être détecté dans les eaux souterraines.

Le projet RIBACLIM a étudié dans quelle mesure le changement climatique modifiera la qualité de l'eau dans les stations de pompage dont les eaux souterraines sont principalement alimentées par l'infiltration de l'eau fluviale. Les recherches sur le terrain ont été concentrées sur un site de la Thur (Ellikon, ZH). Celui-ci a fait l'objet d'études approfondies et fait partie d'un réseau européen de mesures. Le RIBACLIM a en outre examiné, au moyen de colonnes de distillation, l'influence de paramètres relevant du climat – température, concentration et type de matières organiques naturelles, taux d'infiltra-

A gauche: à l'avenir, certaines sources amèneront moins d'eau en été. Les sources les plus menacées sont celles alimentées par de petits aquifères fortement perméables. SWIP

Au milieu: de nombreux puits d'eau potable sont de petite taille. Leur mise en réseau gagnera en importance à l'avenir. SWIP

A droite: les signaux climatiques du passé se détectent dans la température de l'eau souterraine. GW-TEMP

A l'heure actuelle, la majorité des Suisses préfère l'eau du robinet – d'excellente qualité – à l'eau minérale en bouteille (synthèse thématique, ST 1).

tion – sur les processus d’infiltration de l’eau fluviale.

Captages d’eau potable et horizon sourcier

Le projet GW-TREND est parvenu à la conclusion que les volumes d’eau annuels de certaines sources dans lesquelles s’infiltrent les eaux pluviales pourraient diminuer à long terme. En comparaison internationale, ces volumes sont toutefois encore élevés. Ces modifications sont du même ordre que celles occasionnées par le changement de l’utilisation du sol agricole. Les changements d’affectation des sols peuvent renforcer ou au contraire atténuer les effets climatiques.

Des phases de sécheresse prolongées peuvent devenir problématiques pour les sources alimentées par de petits aquifères fortement perméables. La demande en eau potable ne sera plus nécessairement couverte partout à tout moment. Cependant, les systèmes récupéreront rapidement dès l’apparition de précipitations. La répartition saisonnière sera probablement modifiée. La formation d’eaux souterraines à la fin de l’été et au début de l’automne sera nettement plus faible. Des étés chauds et secs entraînent par ailleurs un déficit en eau. Les phases lors desquelles l’évaporation dépassera le volume des précipitations seront prolongées.

Selon le projet GW-TREND, les grands aquifères profonds et moins perméables ne devraient pas rencontrer trop de difficultés. Ces aquifères peuvent remplir une fonction importante en atténuant les effets climatiques.

Stations de pompage le long des rivières

Là aussi, la sécheresse estivale et l’étiage pourront poser problème. Dans ce cadre, il est important de considérer les eaux de surface et les eaux souterraines comme un système global. L’échange entre ces masses d’eau joue un rôle essentiel dans le comportement des captages d’eaux souterraines qui recueillent ce type d’eaux.

Dans les bassins versants où le débit d’eau des rivières est nettement supérieur au débit des eaux souterraines, les périodes de sécheresse ont

un effet négligeable sur les volumes d’eau disponibles pour l’approvisionnement en eau potable. Cependant, il est essentiel que les aquifères et la rivière soient bien reliés. Dans les endroits où les nappes aquifères sont séparées des rivières en cas d’étiage, l’eau potable doit pouvoir être captée à partir de l’eau stockée dans les aquifères.

Dans certains cas, l’assèchement de la rivière précède l’abaissement du niveau des eaux souterraines. L’alimentation en eau potable reste garantie, même si la rivière est asséchée. Des modèles permettent désormais de prévoir les zones dans lesquelles de tels assèchements se produisent.

Actions pour renforcer de la sécurité d’approvisionnement

Il est nécessaire de comprendre précisément le système des approvisionnements en eau potable menacés par la sécheresse au moyen d’études réalisées au cas par cas. Ce n’est qu’à cette condition qu’il sera possible d’évaluer les répercussions du changement climatique sur la disponibilité, mais aussi sur la qualité de l’eau potable. Les informations et données relatives aux périodes de sécheresse extrême qui se sont produites par le passé permettent de comprendre le mode de réaction de l’approvisionnement en eau potable et de calibrer des modèles de prévisions.

La stratégie consistant à soutenir les approvisionnements en eau potable au moyen de plusieurs dispositifs – sources, stations de pompage – est judicieuse et déjà très largement mise en œuvre. Il est essentiel que les systèmes réagissant aux effets climatiques avec une dynamique différente soient reliés entre eux. Citons l’exemple du système d’approvisionnement en eau de la région de Berne. Les aquifères en roches meubles de deux vallées fluviales, la vallée de l’Emme (BE) et la vallée de l’Aar (BE), en constituent les piliers les plus importants. Ces vallées présentent une dynamique différente et se complètent donc de manière optimale.

L’intensification croissante de l’utilisation du sol et le développement urbain limitent malheureusement en maints endroits la possibilité d’exploiter les eaux souterraines pour la produc-

tion d'eau potable. Les ressources les plus précieuses en eau souterraine – qualité élevée de l'eau, approvisionnement fiable – doivent être protégées beaucoup plus activement en Suisse. Il s'agit là d'une mesure importante en matière d'adaptation au changement climatique. Sur ce point, la situation est paradoxale: partout, la population suisse accorde une grande importance à l'eau potable; néanmoins, la protection des réserves suscite souvent un intérêt moindre, voire est décriée dès que se font jour des propositions de mesures concrètes (espaces protégés, aménagement du territoire, restrictions).

Signaux climatiques identifiés dans la température des eaux souterraines

L'influence du réchauffement climatique sur les lacs et les rivières est déjà connue depuis longtemps et documentée scientifiquement. Que le réchauffement puisse en revanche avoir une incidence mesurable sur les eaux souterraines, voilà qui n'apparaissait pas clairement avant le PNR 61. A cet égard, le GW-TEMP a pu s'appuyer sur quelques séries chronologiques longues liées à des mesures initiales réalisées en Suisse. Les relations entre les températures d'une rivière et des eaux souterraines et les facteurs climatiques ont été analysées au moyen de méthodes statistiques. L'équipe de projet a révisé les données, comblant les lacunes et rectifiant les valeurs aberrantes imputables aux erreurs de mesure.

Au cours des 30 à 50 dernières années, la température des eaux souterraines a augmenté sur un grand nombre des sites étudiés, où l'eau souterraine est principalement alimentée par l'infiltration de l'eau fluviale. Cette hausse de température est comparable à la hausse de la température de l'air et de l'eau fluviale. Le temps nécessaire à l'infiltration de l'eau, depuis la rivière jusqu'à la station de pompage, et la part d'infiltration de l'eau fluviale dans les eaux souterraines déterminent l'intensité de cette augmentation. Si, en revanche, les eaux souterraines sont alimentées par les précipitations, elles se réchauffent nettement moins.

Les études ont également révélé un phénomène surprenant. A la fin des années 80, le comportement de l'oscillation arctique a été responsable d'une hausse subite de la température des eaux européennes. Le GW-TEMP a pu constater pour la première fois cette hausse de température également dans les eaux souterraines.

Prévisions et conséquences possibles de la hausse des températures

La hausse des températures de l'eau se poursuivra certainement jusqu'à la fin du XXI^e siècle dans les aquifères étudiés. L'intensité des tendances calculées par les modèles dépend des scénarios climatiques appliqués et des propriétés physico-chimiques des eaux souterraines et des aquifères. Là où les eaux souterraines sont principalement alimentées par l'infiltration d'eau fluviale, les modèles utilisés par le GW-TEMP prévoient une hausse de la température de deux à quatre degrés Celsius (valeurs moyennes) d'ici à 2100. Les eaux souterraines exclusivement alimentées par les précipitations ne devraient se réchauffer que d'un degré Celsius.

Ces réchauffements peuvent déclencher des conséquences indésirables. Ainsi, une hausse des températures dans les eaux souterraines entraîne une diminution de la teneur en oxygène de ces eaux. Ce phénomène peut notamment entraîner la dissolution de fer dans les eaux souterraines et, par conséquent, une précipitation du fer dans les stations de pompage et les conduites. Une station de pompage alimentée par la Thur (ZH) a subi ce genre de dommages pendant la canicule de l'été 2003.



A gauche: en 2003, la station de pompage de Forren, en Thurgovie, a dû être ventilée artificiellement car des usagers avaient annoncé des dépôts (ocre ferreuse) dans le réseau de distribution, ce qui s'est révélé provenir d'une manque d'oxygène dans les eaux souterraines.

Photo Andreas Scholtis, Office de l'environnement du canton de Thurgovie

Au milieu: le projet RIBACLIM a réalisé des analyses poussées au moyen d'expériences de colonnes en laboratoire. RIBACLIM

A droite: la sécheresse estivale et l'étiage peuvent poser problème pour les stations de pompage le long des rivières. RIBACLIM

Concentration d'oxygène dans les eaux souterraines le long des rivières

Au cours des dernières années, les chercheurs ont également constaté des augmentations subites des concentrations d'oxygène dans les eaux souterraines alimentées par l'infiltration d'eau fluviale. Celles-ci correspondent généralement aux périodes où les valeurs de débits sont élevées dans les rivières qui alimentent les eaux souterraines. Il y a une explication à cela. En maints endroits, le fond des rivières est recouvert de sédiments fins et de boue (colmatage), ce qui réduit ou empêche même parfois l'échange d'eau. Ces zones sont très actives sur le plan microbiologique. Cela a pour conséquence une diminution de la teneur en oxygène de l'eau infiltrée. En cas de forts débits, qui devraient à l'avenir se produire plus fréquemment en hiver en raison du changement climatique, ces sédiments et boues peuvent être lessivés, ce qui rend le fond de la rivière en général plus perméable. Le temps de séjour de l'eau fluviale infiltrée avant d'atteindre la station de pompage est donc réduit et les concentrations en oxygène augmentent.

Attention cependant: les crues de petite et moyenne envergure produisent plutôt l'effet inverse dans certains bassins versants, à savoir un appauvrissement en oxygène dans la zone riveraine. Ce phénomène survient lorsqu'une quantité plus importante de carbone organique particulaire pénètre dans la zone riveraine.

Qualité de l'eau dans les stations de pompage et infiltration d'eau fluviale

Les processus biogéochimiques qui se déroulent dans les rivières et les zones d'infiltration entre la rive fluviale et la station de pompage des eaux souterraines sont d'une importance cruciale pour la qualité de l'eau potable produite principalement à partir d'eau fluviale infiltrée. Le changement climatique peut influencer la température de l'eau des rivières et des eaux souterraines, mais aussi la part d'infiltration de l'eau fluviale dans les eaux souterraines.

Quand une station d'épuration des eaux usées (STEP) déverse de l'eau dans une rivière, les polluants se décomposent partiellement dans la rivière sous l'effet de processus photochimiques. Ces processus ont été étudiés dans le cadre du projet RIBACLIM. Il apparaît que le mode de dégradation n'évoluera que peu dans des conditions climatiques modifiées.

Dans le cadre de ces études, l'accent a été mis sur les contaminants en traces, qui sont solubles dans l'eau et résistent à la biodégradation. Ils se retrouvent surtout dans les cours d'eau des zones densément peuplées. Pour la première fois, les modes de dégradation photochimiques de ces contaminants dans les rivières ont été déterminés par de nouvelles méthodes. Les chercheurs en ont conclu que la dégradation naturelle n'était pas toujours suffisante pour certaines substances, l'efficacité de la dégradation pouvant fortement varier d'une substance à une autre.

Parmi ces micropolluants, certains accèdent même aux eaux souterraines et, par conséquent, aux stations de pompage de l'eau potable. Leur concentration est déterminée par la proportion d'eau fluviale infiltrée dans l'eau puisée. Pour garantir la qualité de l'eau potable, il est indiqué d'introduire des mesures à la source, c'est-à-dire au niveau des stations d'épuration (stade d'épuration n°4).

Changement climatique et qualité de l'eau dans ces stations de pompage

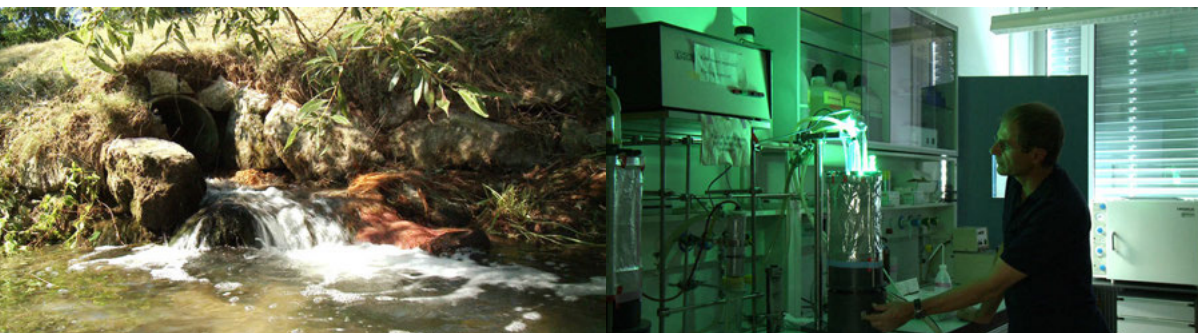
En s'appuyant sur une combinaison de recherches effectuées en laboratoire et sur le terrain, les chercheurs ont conclu que la dissolution du fer et du manganèse ainsi que les incrustations ferriques décrites sont plutôt improbables dans la plupart des installations destinées à l'approvisionnement en eau avec infiltration d'eau fluviale, même dans des conditions climatiques modifiées. Aucune intervention urgente n'est donc requise. Les observations ont notamment fait apparaître que, en cas d'appauvrissement en oxygène, l'eau contenait généralement suffisamment de nitrates pour éviter la dissolution d'oxydes de manganèse et de fer.

Dans quelques rares cas d'approvisionnement en eau, le phénomène d'étiage combiné à une température accrue peut entraîner un épuisement total de l'oxygène dans la zone d'infiltration des rivières. Cet épuisement est largement tributaire de la température. La série d'essais réalisés en laboratoire, sur une plage de températures allant de cinq à trente degrés Celsius, a montré qu'en cas de températures plus élevées, le processus de consommation d'oxygène se déroulait beaucoup plus rapidement. Il convient donc d'être particulièrement vigilant pendant les périodes de canicule prolongées. Même les petites et moyennes crues qui ne sont pas capables de fissurer le fond des rivières peuvent accélérer la consommation d'oxygène dans la zone riveraine si une quantité plus élevée de carbone organique particulaire pénètre dans le lit de la rivière. Le changement climatique peut entraîner une multiplication des étiages en été. Ceux-ci

réduisent le rapport de dilution entre les eaux fluviales et les eaux usées traitées. Il faut s'attendre à une dégradation de la qualité des eaux souterraines dans les zones caractérisées par l'infiltration d'une eau fluviale relativement polluée. Cela pose surtout problème dans les eaux souterraines où la proportion d'infiltration d'eau fluviale est élevée.

L'influence de la proportion d'eaux usées sur l'appauvrissement en oxygène est insignifiante. C'est ce qu'a montré le projet RIBACLIM au moyen d'expériences réalisées en laboratoire. Dans de nombreux aquifères, ce n'est pas la matière organique dissoute qui est responsable de la consommation d'oxygène, mais la matière organique liée dans le sous-sol.

Il faut mettre en place une approche régionale, accompagnée au besoin d'une compensation financière des prestations. Les régions rurales ne sont pas toujours disposées à préserver des espaces protégés pour permettre à d'autres communes de se développer.



A gauche: il faut s'attendre à une dégradation de la qualité des eaux souterraines dans les zones caractérisées par l'infiltration d'eau fluviale relativement polluée dans les eaux souterraines. RIBACLIM

Au milieu: des expériences réalisées en laboratoire démontrent qu'une haute teneur en eaux usées n'a qu'un impact minime sur l'appauvrissement en oxygène.

RIBACLIM

A droite: les micropolluants sont éliminés avec du charbon actif (filtration, dosage de charbon en poudre).

Photo Donau Carbon GmbH & Co. KG

Points restant à traiter

Les projets du PNR 61 fournissent des informations sur les approvisionnements en eau qui puisent dans les eaux souterraines essentiellement composées de l'eau fluviale qui s'y infiltre. Les projets ne sont pas encore en mesure de déterminer quels sont les approvisionnements en eau critiques pour lesquels des mesures sont nécessaires.

De même, les répercussions des nombreuses renaturations prévues sur de tels approvisionnements en eau potable sont encore mal connus.

Recommandations

A l'avenir, les services d'approvisionnement en eau tributaires d'eaux souterraines largement alimentées par l'infiltration d'eau fluviale devraient davantage soumettre leurs systèmes à des analyses et mesurer les taux d'oxygène et de nitrates. L'objectif consiste à déterminer les tendances à long terme et les modifications de ces paramètres pendant les périodes de canicule.

En principe, il convient de considérer chaque installation de captage individuellement. Par conséquent, l'évaluation des risques découlant d'un problème d'approvisionnement lié au changement climatique doit être effectuée séparément pour chaque système d'approvisionnement en eau.

En cas de problèmes liés au manganèse et au fer, ces substances indésirables doivent être extraites avec un traitement approprié.

Là où des approvisionnements en eau contiennent des micropolluants, il faudra vérifier la toxicologie humaine. Dans tous les cas, un traitement au charbon actif (filtration, dosage de charbon en poudre) ou un procédé d'oxydation s'impose.

Les mesures prévues en vue d'éliminer les micropolluants dans les stations d'épuration des eaux usées constituent sans aucun doute une bonne stratégie. Cependant, elles ne permettent pas d'éliminer des cours d'eau les micropolluants issus d'autres sources, notamment de l'agriculture ou des eaux de surface urbaines.

Le PNR 61 développe des méthodes visant le renforcement de la durabilité

Les chercheurs ont analysé la durabilité de la gestion des eaux actuelle en Suisse et se sont penchés sur les moyens permettant de la renforcer. Une collaboration dépassant le seul secteur de l'eau s'impose. La mise en place d'une stratégie nationale de gestion de l'eau constituerait une étape importante sur cette voie. Les cantons disposant d'une loi sur les eaux ou d'une stratégie hydrologique seront mieux parés pour relever les défis de demain.

De quoi est-il question?

Gestion durable de l'eau

L'utilisation des ressources en eau doit répondre aux besoins les plus divers: production d'énergie (énergie hydraulique, récupération de chaleur), croissance urbaine (imperméabilisation au-dessus de grands aquifères) ou agriculture (apports de substances, irrigation). La gestion durable de l'eau ne relève pas uniquement de la technique et des sciences naturelles, mais aussi, et de plus en plus, du renforcement de la gouvernance ainsi que de la gestion de l'eau et des infrastructures hydrauliques.

Au vu des défis considérables que représentent par exemple la croissance de la population, la transition énergétique, les coûts de renouvellement des infrastructures hydrauliques et le changement climatique, les questions suivantes revêtent une importance croissante: comment organiser la gestion de l'eau dans le contexte des droits d'usage et des conflits d'intérêt liés à l'eau? Quels sont les objectifs, règles et instruments à définir? Comment renforcer la collaboration régionale sectorielle et la collaboration entre les différents niveaux de l'Etat? Quelles sont les approches et les méthodes appropriées?

Des principes directeurs pour l'avenir

Le programme s'est penché sur les défis liés à la gestion durable de l'eau. Le comité de direction a tiré les conclusions suivantes:

- ▶ le cycle de l'eau doit être considéré comme un tout – aux niveaux quantitatif, qualitatif et écologique. A cet égard, la collaboration régionale entre les acteurs doit être renforcée;
- ▶ au vu des incertitudes en termes de développement socio-économique et de changement climatique, le principe du pollueur-payeur doit être appliqué de manière cohérente dans le domaine de l'eau. Une «interdiction de détérioration» doit faire l'objet de discussions partout où les valeurs limites sont dépassées sur une grande surface en raison de modifications insidieuses sans qu'aucun remplacement ne soit possible;
- ▶ la capacité d'adaptation («résilience») des systèmes naturels dans le cycle de l'eau doit être maintenue et renforcée dans la mesure du possible. Cela concerne, par exemple, la régulation du débit et de la température de l'eau ou la capacité d'autoépuration;
- ▶ il est nécessaire de continuer à renforcer la capacité des acteurs à traiter et à résoudre les problèmes;
- ▶ les services liés à l'eau doivent être valorisés. Il convient de veiller à couvrir leur coût lorsque cela semble justifié et approprié;
- ▶ l'eau est à traiter comme un bien commun ne répondant pas exclusivement à des considérations commerciales. Elle est une composante de la nature et du paysage. Dans la Suisse urbanisée, l'eau contribue de plus en plus à la régénération psychique;
- ▶ la répartition équitable de l'eau et l'accès équitable à l'eau sont une caractéristique fondamentale de la gouvernance de ce bien commun et, par conséquent, de la durabilité dans le domaine de l'eau. La participation et la

Le programme de recherche a recensé les termes et principes relatifs à la gestion durable de l'eau. Dans ce cadre, la «gestion intégrée des eaux» (GIE) et, plus particulièrement, le renforcement de la gouvernance de l'eau occupent le premier plan. On s'intéresse ici aux structures réglementaires et aux actions devant être entreprises par les acteurs étatiques.

La synthèse thématique 4 (ST 4) «Gouvernance durable de l'eau» s'adresse – à titre de complément – aux expert(e)s sur le terrain.

coopération favorisent la vie communautaire et renferment une valeur sociale et culturelle importante.

L'eau est l'élément de base à l'origine de milieux naturels d'une grande diversité et de paysages ruraux où il fait bon vivre. C'est un bien d'une grande valeur. La valorisation de ces aspects renferme un potentiel important pour l'avenir. En outre, ces aspects immatériels pourraient revêtir une importance croissante à l'avenir, en particulier dans les régions où la pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation est forte.

Gestion intégrée des eaux (GIE)

La collaboration et la concertation entre les services étatiques responsables et les acteurs chargés de la gestion des eaux gagneront en importance à l'avenir. A cet égard, il y a lieu de réaliser des progrès à deux niveaux: la gouvernance et la gestion. Ces deux facteurs sont importants pour garantir la durabilité de la gestion de l'eau et permettre des améliorations.

La gouvernance se réfère aux structures réglementaires et aux actions réalisées entre les acteurs étatiques de la gestion de l'eau: bases juridiques, stratégies, structures, processus de coopération et de coordination, ententes infor-

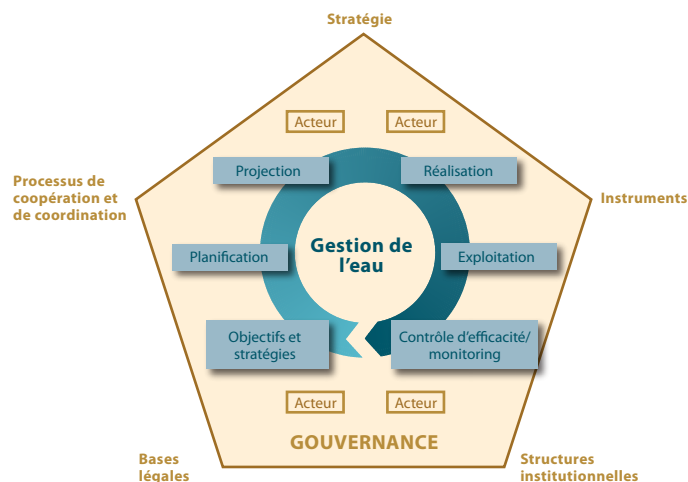
melles et formelles et instruments administratifs. La gestion se réfère au processus de planification, d'étude de projet et de mise en œuvre de mesures organisationnelles, techniques ou opérationnelles. Le cycle de gestion se voit accorder la priorité. La planification des infrastructures hydrauliques en est un exemple.

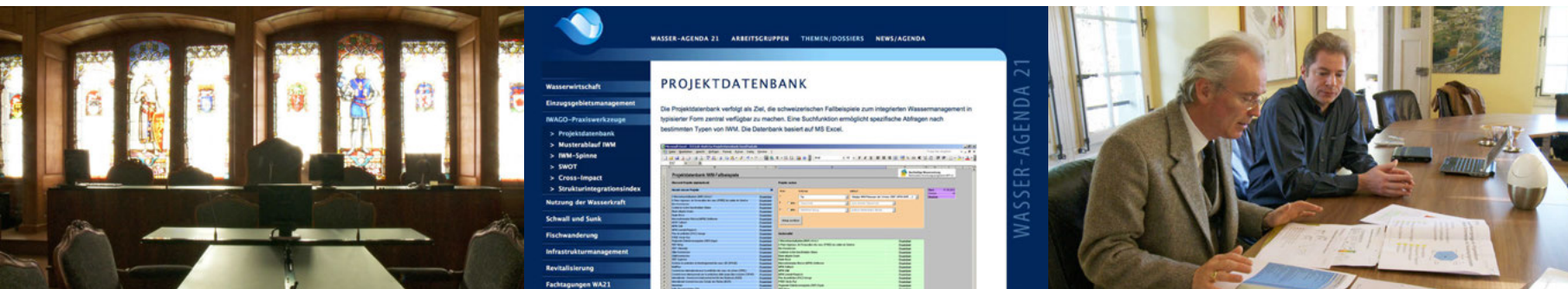
Dans la GIE, l'eau et les facteurs qui l'influencent directement sont au centre des préoccupations. Dès que l'on considère également les cours d'eau et leurs fonctions dans le paysage, la complexité s'accroît. On peut nommer, à titre d'exemple, la protection et l'entretien des écosystèmes aquatiques et des paysages dans les zones situées à proximité des cours d'eau ou la protection contre les crues.

Aspect étudiés par le PNR 61

Les projets ont donné lieu à une analyse exhaustive de l'état actuel de la GIE et de la gouvernance de l'eau en Suisse. Ils mettent en lumière les domaines dans lesquels les principes de gestion durable de l'eau décrits précédemment sont d'ores et déjà pris en compte. Les synthèses thématiques formulent des propositions en faveur du renforcement de la durabilité de la gestion des eaux urbaines (ST 3) et de la gouvernance de l'eau (ST 4).

III. 30: les deux niveaux de la GIE – gouvernance et gestion. Synthèse thématique ST 4, avec adaptation

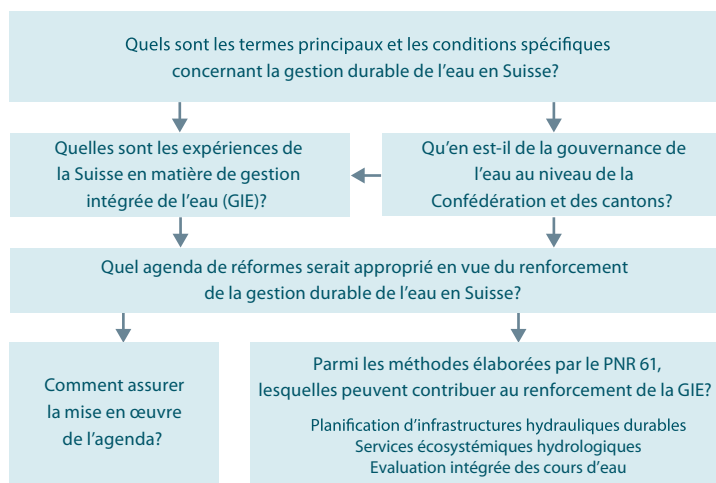




Le projet IWAGO a examiné de nombreuses études de cas régionales. Il décrit la situation actuelle au niveau de la Confédération, des cantons et des communes. Ses conclusions sont présentées dans l'ouvrage «Vers une politique intégrative de l'eau» (2013). Le projet MONTANAQUA a élaboré une approche en faveur d'une GIE régionale basée sur les connaissances acquises dans la région de Crans-Montana-Sierre. Il se pourrait que l'eau se fasse rare dans cette région à l'avenir. L'approche élaborée en collaboration avec les acteurs locaux montre comment les régions pourraient traiter des problèmes simi-

laire. De nombreux projets ont mis au point des méthodes et des instruments ad hoc disposant du potentiel suffisant pour renforcer la GIE dans les régions soumises à une pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation: planification d'infrastructures (SWIP), calcul des «services écosystémiques hydrologiques» (HYDROSERV) et évaluation intégrée des cours d'eau (IWAQA). Les méthodes élaborées ne sont pas encore opérationnelles partout.

A gauche: la gouvernance de l'eau est indissociable de la politique et de la législation. IWAGO
Au milieu: IWAGO a conçu des outils pour la pratique, disponibles sur le site Internet de l'Agenda 21 pour l'eau. IWAGO
A droite: le projet IWAGO a étudié plus de 20 exemples régionaux de gestion intégrée des eaux. IWAGO



III. 31: gestion intégrée des eaux (GIE) – les questions auxquelles le PNR 61 apporte des réponses.

«Le problème des eaux n'est pas une question de ressources, mais de gestion. Il est avant tout nécessaire de mettre en œuvre des réformes institutionnelles.»

Flurina Schneider, MONTANAQUA, Université de Berne.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Particularités suisses

La structure fédérale de l'Etat constitue l'un des piliers de la Suisse. Elle instaure des conditions spécifiques. Le contrôle et la coordination des utilisations de l'eau, de la protection de l'eau et des écosystèmes aquatiques ou de la protection contre les effets de l'eau interviennent à différents niveaux.

Structure fédérale de l'Etat

Les différentes compétences sont définies dans la Constitution. La Confédération pourvoit à l'utilisation rationnelle des ressources en eau, à leur protection et à la lutte contre l'action dommageable de l'eau (Constitution fédérale, art. 76). Elle formule les préceptes correspondants et édicte des directives. La protection de l'eau, l'aménagement des cours d'eau et les dispositions relatives aux quantités résiduelles d'eau en sont des exemples.

Les cantons jouent un rôle charnière. Ils exercent une grande partie de la souveraineté sur les ressources en eau. Par conséquent, ils peuvent octroyer des autorisations, des licences et des concessions pour les différentes utilisations de l'eau. Ils sont responsables de la protection contre les crues et de l'exécution des lois en matière de protection des eaux. Ils peuvent également déléguer aux communes les tâches leur incombant dans le domaine de la gestion des eaux et la souveraineté dont ils jouissent en la matière. Des différences notables existent entre les cantons.

En règle générale, l'approvisionnement en eau et l'épuration des eaux usées relèvent de la responsabilité des communes. Cependant, celles-ci peuvent également transférer ces tâches à des tiers, par exemple à des communautés de communes, des syndicats intercommunaux ou des entreprises communales.

Quelles sont les répercussions sur le secteur de l'eau?

Cette hiérarchie de compétences définit historiquement présente certes des points forts, mais elle est également à l'origine de certains problèmes:

- ▶ la répartition des tâches et les compétences financières sont complexes et règlementées différemment selon le secteur et le canton;
- ▶ les cantons et les communes disposent d'une grande autonomie. Ils agissent souvent pour eux-mêmes sans se préoccuper des conséquences de leurs actes sur des tiers;
- ▶ l'organisation des infrastructures hydrauliques se fait à petite échelle. Cette donnée complique les planifications stratégiques qui prendront de l'importance à l'avenir;
- ▶ la complexité liée à l'imbrication déjà complexe du droit fédéral, cantonal et communal est encore accrue en maints endroits en raison des droits d'usage traditionnels.

La complexité de cette hiérarchie de compétences explique la quasi-absence de visions ou de stratégies directrices et coordonnées. Même lorsqu'il existe une planification cantonale, la mise en œuvre est généralement déléguée aux communes. Par ailleurs, les tâches sont extrêmement différenciées. La plupart du temps, les questions politiques d'ordre général impliquent de nombreux postes administratifs ou de nombreuses personnes; de même, les décisions prises concernent une multitude d'acteurs. Outre les services étatiques, l'on peut nommer ici les organisations environnementales, les associations professionnelles de la gestion des eaux, les associations d'usagers (irrigation), les entreprises des secteurs public et privé (sociétés d'exploitation des centrales électriques, tourisme) ou les organismes de droit public (corporations de digues, bourgeoisies).

Des structures fragmentées

Le fédéralisme présente des points forts, par exemple en matière d'exécution ou de proximité vis-à-vis du citoyen. Cependant, il complique la gestion des objectifs d'ordre général, lesquels gagneront du terrain à l'avenir – par exemple, la coordination des utilisations de l'eau au niveau régional.

Les projets SWIP et MONTANAQUA ont analysé la fragmentation de la gouvernance de l'eau dans les domaines de la gestion des eaux urbaines et

des systèmes d'infrastructures communales. Les deux régions à l'étude, Mönchaltorfer Aa (ZH) et Crans-Montana-Sierre (VS), présentent une structure de faite de nombreuses communes politiquement autonomes. La plupart du temps, celles-ci délèguent la planification des infrastructures à des bureaux d'ingénieurs spécialisés. Leur relation étroite avec le milieu politique local complique toute planification efficace et à long terme sur le plan régional.

La région de Crans-Montana-Sierre (VS) est un bon exemple: onze communes se partagent l'approvisionnement en eau potable. Les services d'approvisionnement en eau potable coopèrent les uns avec les autres selon les besoins et, la plupart du temps, au cas par cas. Le pouvoir de décision appartient toujours aux communes. Deux organismes de gestion des eaux ont certes été créés au cours des dernières années, mais cela ne change rien aux déséquilibres structurels: la répartition des droits d'utilisation de l'eau reste inégalitaire, et les communes continuent de calculer les prix de l'eau selon des méthodes différentes.

Le projet IWAGO montre que la fragmentation structurelle pose également problème au niveau cantonal. Les planifications qui requièrent l'octroi d'autorisations ou la défense des intérêts en matière de protection s'effectuent à différents niveaux. Dès lors, le domaine politique lié à l'eau manque de cohérence.

Le droit des eaux, une affaire complexe

La juxtaposition de droits différents conduit à un système juridique complexe et en partie contradictoire. Elle complique la coordination des objectifs généraux préconisée par la GIE.

Outre la politique publique de protection et d'utilisation, inscrite dans la Constitution et les bases légales, des droits d'utilisation privés réglementent aussi la gestion des ressources en eau. A cet égard, le Code civil établit la distinction entre l'eau en tant que bien public placé sous la souveraineté de l'Etat (p. ex. les lacs et les rivières) et en tant que propriété privée (p. ex., les petites sources qui ne donnent naissance à aucun ruisseau).

S'ajoutent à cela les «droits acquis», qui sont difficilement modifiables. Ils jouent un rôle important, en particulier dans les domaines de l'irrigation agricole et de l'utilisation de l'énergie hydraulique. La loi fédérale sur les forces hydrauliques (art. 43) stipule que, par le fait de la concession, le concessionnaire acquiert le droit d'utiliser le cours d'eau. D'ici à 2055, 280 concessions d'utilisation de la force hydraulique arriveront à expiration. Les communes devront alors s'interroger pour savoir si elles doivent exercer le droit de retour qui leur est dévolu en fonction de la concession. Cette question est surtout importante pour les communes des régions montagneuses, dans lesquelles l'eau risque de se raréfier à l'avenir.

Les droits d'utilisation de l'eau sans limite temporelle sont dénommés «droits perpétuels». Ils reposent sur des systèmes juridiques historiques et, bien qu'ils ne puissent plus être justifiés par le système juridique moderne, continuent de s'appliquer.

Les visions régionales suscitent peu d'intérêt

La gouvernance de l'eau est très souvent organisée à petite échelle; il s'agit d'une conséquence du traitement sectoriel des sujets liés à l'eau dans les bases légales et de la structure étatique fédérale de la Suisse. De nombreuses tâches sont assumées par les communes. Mais bien souvent, et en particulier dans les zones rurales, celles-ci ne disposent que de ressources limitées en matière de personnel, de connaissances et de moyens financiers.

Si les recommandations du PNR 61 sont respectées, les solutions régionales et intégrées revêtiront une importance croissante à l'avenir. On peut nommer, à titre d'exemple, la protection et l'exploitation des cours d'eau dans les zones soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation, la sécurité de l'approvisionnement en eau potable ou la collaboration de communes dans le cadre de l'épuration des eaux usées ou de la renaturation des cours d'eau.

Expériences en matière de gestion intégrée en Suisse

Les chercheurs ont analysé les expériences réalisées jusqu'à présent en Suisse en matière de gestion intégrée des eaux (GIE) dans le contexte international. Six études de cas ont fait l'objet d'une analyse approfondie et trois d'entre elles sont présentées dans cet ouvrage. Si certains facteurs favorisent la réussite des projets de GIE, d'autres lui font obstacle.

Gestion par bassin versant

En 2011, l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) a mené une enquête internationale sur les expériences réalisées en lien avec la GIE. Celle-ci a montré que, dans la plupart des pays présentant une structure étatique fédérale, la gestion des eaux était organisée par bassin versant. A ce titre, les pays concernés – par exemple l'Australie, la Belgique, l'Italie, le Mexique, les Etats-Unis et l'Espagne – mettent sur pied de nouvelles structures et plateformes.

Les expériences internationales ont montré qu'une approche par bassins versants facilitait généralement la mise en œuvre de la GIE. Mais cette approche comporte aussi des inconvénients: le nombre des services administratifs impliqués augmente. Une coordination s'impose là où les frontières hydrologiques (bassin versant) et administratives ne coïncident pas. On constate également un fossé en matière d'information et de connaissances entre les acteurs politiques, de l'administration et des organismes de gestion par bassin versant. Cet écart peut entraver la collaboration et l'instauration d'un climat de confiance entre les différentes parties.

Directive-cadre européenne sur l'eau

La gestion par bassin versant – GIE basée sur les bassins versants – est également une composante essentielle de la réorganisation en profondeur de la gestion des eaux dans les pays de l'Union européenne (UE). La directive-cadre européenne sur l'eau est entrée en vigueur en 2002.

Elle permet de définir des stratégies et des objectifs communs dans le cadre des politiques appliquées par les Etats membres dans le domaine de l'eau. Elle renferme les principes d'une exploitation durable de l'eau. L'exploitation par bassins versants, le principe du pollueur-payeur, l'observation du rapport qualité-prix des mesures appliquées ainsi que l'implication du public ent sont des éléments-clés.

Les Etats membres de l'UE sont tenus de convenir d'un plan d'exploitation pour les bassins versants hydrologiques, est également applicable si le bassin s'étend en partie sur le territoire d'un Etat non membre. Dans la mesure où les projets des Etats membres de l'UE concernent notre pays, une coordination avec la Suisse s'impose. C'est donc le cas pour l'Inn, le Rhin, le Rhône et le Tessin.

La politique de la Confédération relative à la GIE

La mise en œuvre de la GIE par bassin versant en Suisse n'a pas les mêmes conséquences que dans les pays de l'Union européenne. La Confédération encourage la réflexion dans des espaces fonctionnels. L'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) et plusieurs cantons se penchent sur ce thème.

Les différentes initiatives sont coordonnées par l'Agenda 21 pour l'eau, une association privée. Celle-ci considère que les principes de gestion par bassin versant peuvent d'ores et déjà être appliqués dans le cadre d'une responsabilité propre. Les «Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux en Suisse» (2011) fournissent des instructions à cet effet. L'Agenda 21 pour l'eau est d'avis qu'il faut de bons exemples pour ancrer davantage la GIE en Suisse.

En vertu du principe du volontariat, pratiquement aucune loi ou ordonnance n'a été édictée jusqu'à présent en Suisse pour obliger les cantons et les communes à adopter une GIE dans les bassins versants. La protection des eaux est une exception. La révision de la loi et de l'ordonnance sur la protection des eaux (2011) prévoit:

- ▶ la coordination des mesures dans les bassins versants (CEaux, art. 2 et 3);

- l'obligation des cantons de coordonner entre elles les mesures de protection des cours d'eau et les mesures à prendre dans d'autres domaines (CEaux, art. 46).

La Confédération et ses partenaires travaillent également avec des aides à l'exécution. Celle qui concerne la renaturation des cours d'eau constitue un élément de base pour l'octroi d'une aide financière aux projets. Elle pose comme condition la coordination des mesures de gestion des eaux et la mise en œuvre de planifications stratégiques dans le cadre de la renaturation des cours d'eau.

La promotion de la GIE est aussi l'un des objectifs de la stratégie d'adaptation au changement climatique définie par le Conseil fédéral. Pour l'heure, les messages centraux relatifs à la GIE sont diffusés auprès des spécialistes via des colloques et des brochures.

Expériences de GIE en Suisse

Le projet IWAGO a recensé 38 exemples de projets de GIE en Suisse. Parmi eux, six ont fait l'objet d'une analyse approfondie. Les exemples sont très divers au niveau du contenu. Cette diversité a permis aux chercheurs de se familiariser avec les différentes formes de GIE pratiquées en Suisse.

Ces six études de cas sont axées sur la gestion par bassin versant. Les spécialistes interrogés par IWAGO ont estimé ce point important. Il peut contribuer à accroître l'efficacité de la gestion des eaux et l'acceptation des mesures favorables à la GIE par la politique et la population. Ces études poursuivent différents objectifs et abordent différents thèmes. La qualité de l'eau, la biologie des cours d'eau et l'épuration des eaux usées sont des thèmes communs. A l'inverse, les eaux souterraines, l'irrigation et l'utilisation dans le cadre des loisirs ne sont abordées qu'exceptionnellement. Par ailleurs, le syndicat régional MultiRuz se concentre essentiellement sur les infrastructures hydrauliques.

Méthode d'évaluation des expériences

Des entretiens ont été réalisés avec les promoteurs, participants et acteurs concernés. Les

résultats des évaluations sont représentés sous forme de diagrammes en radar. Les chercheurs ont évalué six points.

- Niveau de réalisation (échelle de 1 à 6): des décisions politiques ont-elles été déjà adoptées? De quand l'expérience de réalisation date-t-elle?
- Rapport spatial (échelle de 1 à 4): dans quelle mesure s'agit-il d'un bassin versant hydrologique?
- Intégration sectorielle (échelle de 1 à 3): combien de secteurs sont intégrés dans le processus?
- Compétences (échelle de 1 à 4): quelle est l'étendue des compétences et des moyens dédiés à la mise en œuvre des mesures?
- Tâches de gestion (échelle de 1 à 3): quelles sont les tâches couvertes par le projet?
- Instruments (échelle de 1 à 5): qui est impliqué et comment? Quels sont les instruments utilisés?

Les facteurs déclencheurs des projets sont très divers. Il n'existe pas de GIE optimale. Il apparaît plutôt que des formes très différentes de GIE sont possibles, selon l'objectif défini et le contexte régional. Les conclusions sont présentées ci-après à la lumière de trois exemples.

Premier exemple: syndicat régional MultiRuz (NE)

Ce projet satisfait dans une large mesure aux critères de la GIE (voir diagramme en radar). Il s'agit d'un projet pilote qui pourrait montrer la voie à de nombreuses zones rurales suisses, qui présentent souvent une forte fragmentation structurelle. Les responsabilités relatives à l'approvisionnement en eau et à l'épuration des eaux usées étaient réparties entre 22 organisations dans le Val-de-Ruz.

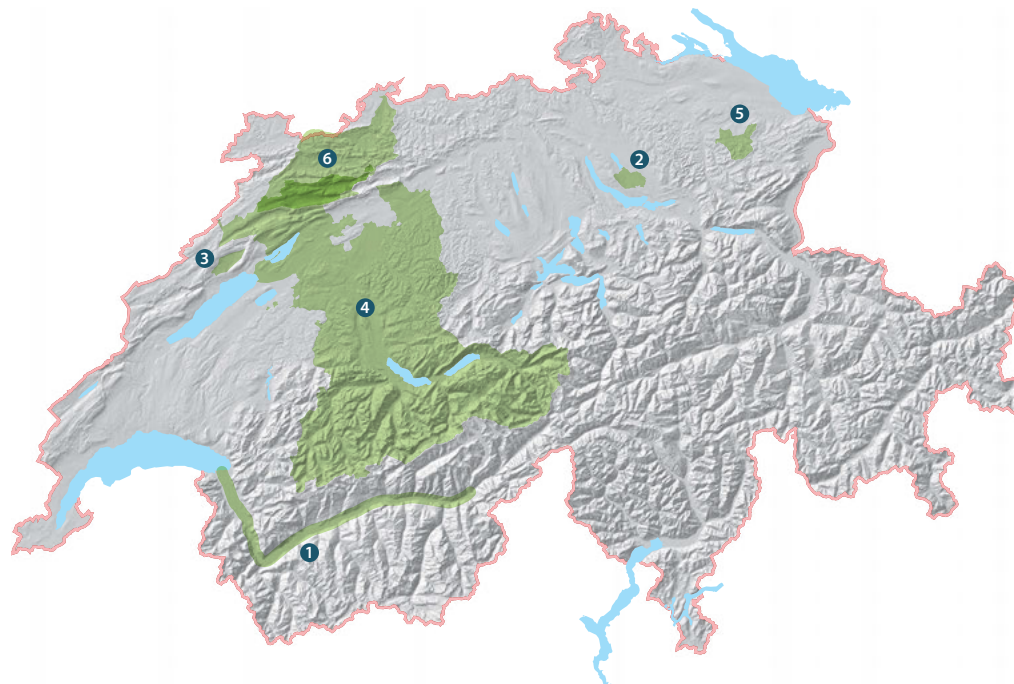
En raison de la mauvaise qualité de l'eau de la rivière Seyon et des problèmes liés à l'étiage, le canton de Neuchâtel (NE) a fait élaborer un plan régional d'évacuation des eaux pour les 16 communes du Val-de-Ruz en 2005. Le rapport a préconisé une approche intégrale pour résoudre les problèmes identifiés. Les communes ont décidé d'élaborer et de mettre en œuvre conjointement

«L'avenir de la gestion de l'eau en Suisse est confronté à des défis de taille. Il apparaît que les structures existantes ne suffiront pas.»

Bernhard Truffer, IWAGO, Eawag.

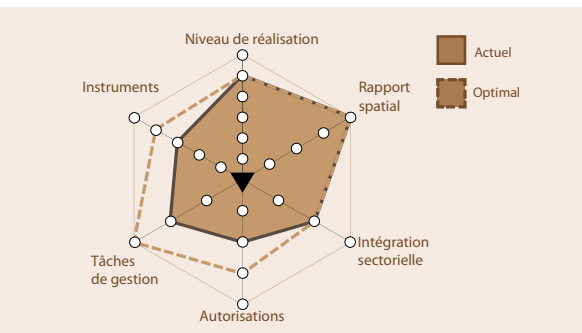
Visionner le DVD pour en savoir plus.

III. 32: exemples de GIE en Suisse – en vert = analyse approfondie par le PNR 61 (IWAGO). Voir tab. 7.



Tab. 7: les six études de cas analysées par le projet. IWAGO

Etude de cas	Description succincte
1 Troisième correction du Rhône (VS)	Protection contre les crues dans la vallée du Rhône (VS); les cours d'eau latéraux ne font pas partie de la zone de planification de la GIE.
2 Greifensee (ZH)	Planification globale et intégrée des eaux; plan d'action «eau».
3 Syndicat régional MultiRuz (NE)	Augmentation de l'efficacité de la gestion des eaux et des infrastructures; toutes les tâches incombant aux communes dans le domaine de l'eau ont été transférées à une communauté de communes, y compris la propriété des infrastructures communales et privées; une large majorité de communes a décidé d'y adhérer.
4 Stratégie de gestion de l'eau du canton de Berne (BE)	L'administration a mis au point une position commune; précision de la marge de manœuvre juridique et définition des priorités; zone de planification de la GIE définie en fonction de la frontière du canton; du point de vue de la GIE, il aurait été approprié d'intégrer les régions des cantons de Fribourg et de Soleure.
5 Commission de la Glatt (ZH)	Amélioration de la qualité de l'eau.
6 Commission de la Birse (BE, BL, BS, JU, SO)	Promotion de la GIE dans le bassin versant de la Birse (BL); la commission est responsable de la Birse et des cinq principaux affluents, mais pas des affluents de moindre importance.



une nouvelle vision et de nouveaux objectifs en vue d'une régionalisation de la gestion des eaux. L'une des associations chargées de l'approvisionnement en eau potable et de l'épuration des eaux usées a pris la tête de ce projet et un groupe de travail a été formé. Un organe de coordination composé de représentants des communes, des services cantonaux et de la Confédération a accompagné le projet (2007-2010).

Un dialogue intense mené avec l'ensemble des participants a permis d'élaborer une nouvelle vision pour l'organisation future de la gestion des eaux. Elle devrait être transmise à un organisme public unique englobant toutes les communes. L'organisme devrait être propriétaire de tous les réseaux d'approvisionnement en eau potable, d'épuration des eaux usées et de drainage. Il devrait en outre disposer d'une équipe de spécialistes et prélever les taxes requises. Les priorités concernant les investissements devraient être définies dans le cadre d'une planification à long terme concernant la région dans son ensemble. En vue de la création du nouvel organisme, des groupements de collectivités publiques ont dû être dissous et des concertations menées dans les communes. A l'été 2010, douze communes ont approuvé la nouvelle organisation. Trois communes ont voté contre leur adhésion, et une commune a refusé de voter. Le nouvel organisme a débuté son activité en 2011. Les taxes sont désormais identiques pour toutes les communes.

Deuxième exemple: stratégie de gestion de l'eau du canton de Berne (BE)

Le canton de Berne (BE) a renoncé à adopter une loi sur les eaux. Il a opté pour une autre voie, plus participative. L'élaboration de la stratégie de gestion de l'eau a duré de 2008 à 2010. Le fort degré d'implication des participants et des acteurs concernés est considéré comme l'un des points forts de ce projet. Un groupe d'accompagnement composé de 35 spécialistes issus de la politique, de l'économie, d'organisations environnementales, des régions concernées par la planification, des communes, de l'exploitation de centrales électriques, d'installations d'approvisionnement en eau et d'épuration des eaux usées, de la pêche et du tourisme, a apporté son soutien dans le cadre du processus. Il a pu présenter des demandes et s'exprimer sur le contenu des décisions.

Sous la houlette de l'Office des eaux et des déchets et d'un groupe de travail pour chacune d'entre elles, trois stratégies partielles ont été développées: utilisation de l'eau, approvisionnement en eau et assainissement. En 2010, les ébauches de ces stratégies partielles, qui s'inspire de la GIE, ont été diffusées dans le cadre d'une participation publique largement utilisée. La stratégie cantonale de gestion de l'eau comporte une liste de mesures à réaliser d'ici à 2015. Des instruments de hiérarchisation des mesures ont été élaborés – par exemple, l'évaluation de la durabilité de la gestion de l'eau ou la carte

A gauche: les six exemples ayant fait l'objet d'une étude approfondie dans le cadre du projet IWAGO étaient axés sur les bassins versants. IWAGO

Au milieu: les résultats des évaluations de la gestion de l'eau sont représentés dans des diagrammes en radar. IWAGO. IWAGO

A droite: les messages centraux relatifs à la GIE sont diffusés auprès des spécialistes via des brochures et à l'occasion de colloques. SWIP

Les diagrammes en radar (p. 89 et en haut) montrent le niveau d'intégration théorique maximum dans chacun des six domaines (ligne pleine) et l'optimum local qui peut être atteint selon les experts (ligne en pointillés). Plus la surface pleine est importante, plus le degré d'intégration est élevé.



A gauche: les enseignements tirés du projet MultiRuz (NE) montrent la voie à de nombreuses zones rurales. IWAGO

Au milieu: l'élaboration de la stratégie de l'eau du canton de Berne a duré de 2008 à 2010. IWAGO

A droite: les cantons tirent parti de leur marge de manœuvre dans la commission de la Birse (BE, BL, BS, SO, JU). Les communes sont encore trop peu intégrées.

Photo plan régional d'évacuation des eaux de la Birse, AUE BL

Les problèmes liés à la gestion de l'eau dans le Val-de-Ruz (NE) sont communs à de nombreuses régions rurales de Suisse: fragmentation des rôles, pollution des eaux superficielles et souterraines par l'agriculture, dysfonctionnements des systèmes d'assainissement urbain, surexploitation de l'eau souterraine et entretien des cours d'eau insuffisant.

des cours d'eau «Catégories d'utilisation Ener-gie hydraulique». Cette dernière montre les tronçons de cours d'eau où une utilisation de l'énergie hydraulique est possible dans le canton.

Troisième exemple: commission de la Birse (BE, BL, BS, JU, SO)

En 2000, la Conférence régionale des gouvernements de la Suisse du Nord-Ouest a chargé les administrations et services compétents d'élaborer un plan régional d'évacuation des eaux de la Birse. Les cinq cantons concernés – Berne, Jura, Soleure, Bâle-Campagne, Bâle-Ville – se sont regroupés au sein d'une commission. Le comité directeur est composé des directeurs des services cantonaux. L'exemple montre comment les différents acteurs – cantons, services cantonaux – exploitent leur marge de manœuvre pour mettre en œuvre la GIE. Mais il montre également les limites auxquelles la GIE se heurte si tous les acteurs concernés ne sont pas impliqués.

En effet, les processus de négociation interviennent principalement entre les administrations cantonales lors de la phase de planification. Ils se fondent sur les tâches et les canaux prévus par la législation, tels que le plan régional d'évacuation des eaux. Les communes ne sont pas intégrées dans la commission. Elles sont toutefois responsables du financement et de la réalisation des mesures. Elles ne soutiennent pas la commission de manière inconditionnelle dans tous les domaines.

Facteurs-clés pour réussir une GIE

Le projet IWAGO a identifié les facteurs de réussite et les défis relatifs aux projets de GIE en Suisse: la communication, la participation et l'engagement des personnes impliquées sont des facteurs-clés de réussite. Ces facteurs sont très chronophages et ne sont pas une garantie de succès face à des groupes hostiles aux projets. Les partisans de la GIE doivent faire preuve de patience, car, bien souvent, les intervalles entre la planification des projets et leur mise en œuvre sont très longs.

La gravité des problèmes et sa perception jouent également un rôle. Les politiques et les citoyens doivent reconnaître les avantages de nouvelles structures et de l'introduction de mesures supplémentaires pour renforcer la GIE, ce qui est plus aisé dans une situation d'urgence. Plus un bassin versant est petit, plus la population s'identifie à ce genre de projets. Dans les très grands bassins versants, les riverains en amont ne se sentent pas concernés par ce qui se passe en aval. La distance géographique entre là les coûts sont occasionnés et là où les avantages de la GIE sont perçus est trop importante.

La GIE nécessite des moyens financiers et du temps et implique l'existence d'un organisme doté de compétences suffisantes en matière de mise en œuvre. L'implication de spécialistes par-delà les frontières administratives occasionne des coûts – par exemple s'agissant de l'information, de l'implication des participants et des

acteurs concernés ainsi que des coûts occasionnés par les procédures politiques telles que les votations. Ces coûts sont plus élevés là où la collaboration représente un phénomène nouveau pour l'ensemble des participants.

Bilan et conclusion

A travers les entretiens réalisés avec les participants, le projet IWAGO a analysé les avantages et les inconvénients du renforcement de l'intégration dans le domaine de la gestion des eaux.

Avantages:

- ▶ solutions plus efficaces et plus durables;
- ▶ rentabilité et mise en œuvre rationnelle des moyens, grâce à l'utilisation de synergies et d'économies d'échelle;
- ▶ acceptation accrue chez les participants et les acteurs concernés.

Inconvénients:

- ▶ efforts supplémentaires pour la coordination et la prise de décisions;
- ▶ difficultés lors du passage de la phase de planification à la phase de mise en œuvre, en particulier lorsque de nouveaux niveaux décisionnels sont créés pour compléter la réglementation des compétences existante (autonomie des communes);
- ▶ les différents cycles d'investissement et la diversité des financements compliquent la mise en œuvre des projets.

Recommandations

Davantage d'efforts et une plus grande impulsion sont nécessaires pour renforcer la GIE par bassins versants en Suisse.

Les avantages et les inconvénients d'une intégration accrue doivent être analysés au cas par cas en tenant compte de la problématique spécifique et du contexte institutionnel ou régional. Aucune règle générale n'existe dans ce cadre.

«Grâce à MultiRuz, la planification bénéficie d'une vue d'ensemble. Elle en est dès lors grandement facilitée, notamment parce que nous sommes propriétaires de tous les ouvrages.»

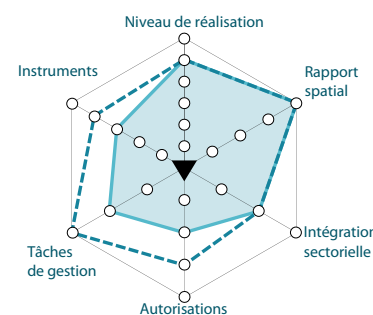
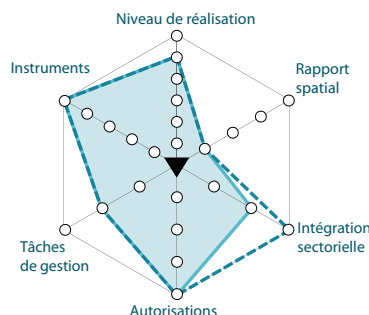
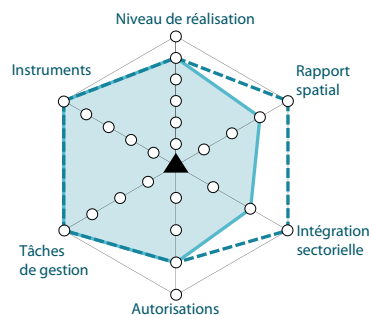
Jonas Graf, MultiRuz.

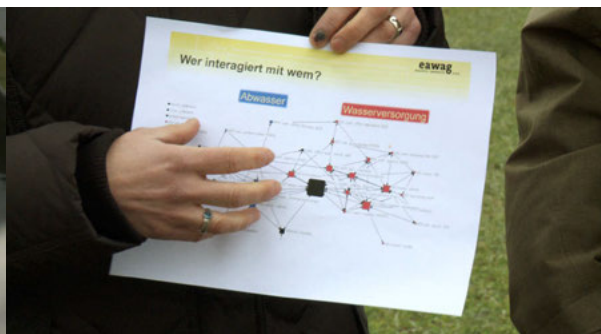
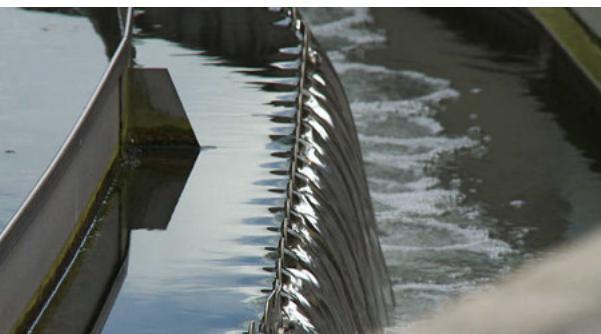
Visionner le DVD pour en savoir plus.

III. 33 (à gauche): MultiRuz – évaluation par le projet IWAGO.

III. 34 (au milieu): stratégie de l'eau dans le canton de Berne – évaluation par le projet IWAGO.

III. 35 (à droite): commission de la Birse – évaluation par le projet IWAGO.





A gauche: la GIE porte sur les eaux et les infrastructures hydrauliques. SWIP

Au milieu: une trop grande fragmentation de l'administration est néfaste. Elle a des impacts négatifs sur la collaboration avec les communes. SWIP

A droite: de bons projets nécessitent une communication et des informations professionnelles. IWAGO

Gouvernance de l'eau par la Confédération et les cantons

Outre la fragmentation des responsabilités relative aux tâches, de la mise en œuvre et du financement, la Confédération et les cantons ont aussi en leur sein des forces vives qui aspirent à plus d'intégration dans le secteur de l'eau. Chaque canton cherche sa propre voie.

Des conditions favorables

En Suisse, les procédures de consultation et la recherche de consensus dans les domaines de la politique et de la prise de décisions relèvent d'une longue tradition. Il existe déjà de nombreuses plateformes, y compris pour la coordination interne aux administrations. Ceci crée des conditions favorables à une gouvernance intégrée de l'eau au sens de la GIE. La Confédération et les cantons sont habitués à prendre en charge des tâches en collaboration avec des tiers ou à les déléguer. L'Agenda 21 pour l'eau, une association œuvrant notamment en faveur du renforcement de la GIE, est un exemple de ce fonctionnement. Les associations de professionnels et les organisations issues de la société civile sont des partenaires importants dans la gouvernance de l'eau.

En matière de gestion de l'eau, les compétences sont souvent réparties entre différents services administratifs. En raison du nombre d'interfaces, des plateformes internes aux administrations doivent être mises en œuvre pour assurer la coordination. Le plus souvent, la collaboration s'effectue sur la base du volontariat.

Projet en faveur d'une stratégie nationale de l'eau

En 2011, dans le cadre des réponses aux interventions parlementaires, le Conseil fédéral a promis l'élaboration d'une stratégie nationale de l'eau. Celle-ci permettrait de renforcer la gouvernance de l'eau et d'ancrer les principes de la GIE en Suisse. Ce projet bénéficie de l'impulsion donnée par les résultats du PNR 61. A l'heure actuelle, l'appui politique en vue de sa mise en œuvre fait encore défaut.

Les cantons et les associations s'accordent sur le fait qu'une stratégie nationale de l'eau n'a pas pour but de «réinventer la roue». Il existe déjà des stratégies partielles sur lesquelles il est possible de s'appuyer. Il s'agit avant tout de combler les lacunes et de créer des interactions. Les services cantonaux compétents et les associations l'économie des eaux et de la protection de l'environnement soutiennent ce projet dans une large mesure. Ils perçoivent les intérêts suivants:

- ▶ une stratégie nationale de l'eau permet d'exploiter les synergies et de réduire les conflits liés à l'eau;
- ▶ elle renforce la mise en œuvre des stratégies partielles de la Confédération et des initiatives cantonales et régionales concernant la GIE;
- ▶ elle permet une démarche unifiée et un positionnement plus fort du secteur de l'eau par rapport à d'autres domaines politiques.



Quelle est la position des cantons?

Le projet IWAGO a fait l'inventaire des progrès réalisés dans la gouvernance de l'eau au sein de neuf cantons. Les avancées ont été évaluées à l'aune des critères suivants:

- ▶ état du développement des normes et des bases légales (p. ex. lois ou ordonnances);
- ▶ progrès en termes de stratégies (p. ex. lignes directrices, plans sectoriels);
- ▶ amélioration des structures institutionnelles, notamment de l'intégration des thématiques de l'eau dans l'administration publique;
- ▶ expériences pratiques en matière de collaboration (p. ex. projets et programmes).

L'analyse montre que les cantons définissent des priorités très différentes. Il existe une multitude d'approches, de méthodes et d'instruments. Les lois cantonales sont adaptées au droit fédéral de manière très diversifiée également. Un groupe de cantons mise sur les normes et les bases légales (précurseurs normatifs), tandis qu'un autre groupe s'appuie sur les stratégies et les lignes directrices pour progresser (précurseurs stratégiques). Un troisième groupe met la GIE en œuvre par le biais de projets concrets (précurseurs opérationnels). Quant au reste, il n'est pas possible de les classer dans une catégorie distincte.

Différentes voies sont envisageables pour le renforcement de la gouvernance de l'eau. Les modifications de lois tout comme les stratégies ou les projets de grande ampleur peuvent donner une

impulsion positive. Un peu partout, les plateformes de coordination et les groupes de travail cantonaux contribuent significativement à la promotion de la gestion durable de l'eau. Le canton de Berne (BE) compte des groupes de travail sur les thèmes des dangers naturels et de la sécheresse. Ceux-ci ont été mis en place par le Conseil-exécutif. Dans le canton de Fribourg (FR), le groupe de coordination des cours d'eau joue un rôle important. Initialement conçu comme plateforme d'échange, ce groupe s'est transformé en plateforme de travail chargée d'élaborer aussi des politiques et des stratégies pour le canton.

Exemple:

Législation sur l'eau dans le canton de Fribourg

Jusqu'en 2010, ce canton disposait d'une législation obsolète dans les domaines de la protection des eaux et de l'aménagement des cours d'eau. Le temps était venu d'en effectuer une révision complète. La nouvelle loi sur l'eau est entrée en vigueur en 2011. Elle est axée sur une exploitation intégrée des eaux au niveau régional, l'objectif étant de parvenir à une exploitation efficace et économique qui protège les cours d'eau et les milieux naturels à long terme.

La protection contre les crues, la protection des eaux et la revitalisation des cours d'eau ne sont désormais plus des tâches communales, mais des activités régionales. Dans le cadre de la gestion régionale, la loi désigne les bassins versants comme unité géographique adéquate. Le can-

A gauche: le canton de Fribourg (FR) dispose d'une loi moderne sur l'eau depuis 2011. IWAGO

Au milieu: les instruments économiques et financiers sont encore peu utilisés en Suisse. Photo Esther Schreier

A droite: la Suisse a besoin d'une stratégie nationale de gestion de l'eau. Faute de quoi les interventions dans le domaine de l'eau resteront trop souvent axées sur un secteur spécifique et sur des problèmes isolés.

Photo www.swissworld.org

L'Agenda 21 pour l'eau est un réseau d'acteurs de l'économie des eaux en Suisse qui s'intéresse à l'utilisation et à la protection de l'eau ainsi qu'à la protection contre les crues. L'Agenda 21 réunit aussi bien des personnes morales que des collectivités de droit public.

Tab. 8: typologie des cantons. IWAGO

Type	Caractéristiques	Exemples
Précurseurs normatifs	caractérisés par une législation moderne et globale dans le domaine de l'eau et des cours d'eau	AG, FR, NE
Précurseurs stratégiques	caractérisés par un ou plusieurs instruments globaux tels que des stratégies de gestion de l'eau	BE, LU, ZH
Précurseurs opérationnels	caractérisés par la mise en œuvre de projets de GIE	UR, VS
Pas de classification précise possible		TI

«Notre loi cantonale sur la protection des eaux était très obsolète. Nous avons donc décidé de la réviser de manière approfondie. La nouvelle loi encourage la collaboration entre les communes dans le cadre de la gestion de l'eau.»

*Marc Chardonnens, canton de Fribourg.
Visionner le DVD pour en savoir plus.*

ton propose douze bassins versants. Il définit les orientations de la politique de l'eau via des plans sectoriels portant sur des thèmes tels que la protection des eaux, l'aménagement des cours d'eau, l'épuration des eaux usées ou les prélèvements d'eau. Ce processus devrait être achevé en 2014. Ce faisant, une commission cantonale est investie d'une fonction de conseil et de coordination.

Les plus grandes répercussions de cette nouvelle loi concernent les communes. Celles-ci sont tenues de s'unir afin d'élaborer des plans directeurs pour les bassins versants dans un délai de cinq ans. Cette union sera formalisée par des accords ou la création d'associations de communes.

Quels sont les instruments politiques utilisés?

Les objectifs de gestion durable de l'eau peuvent être atteints grâce à des méthodes et instruments divers. Chaque instrument a ses avantages et ses inconvénients propres. Le projet IWAGO a réalisé une analyse détaillée du mode d'utilisation de ces instruments par la Confédération et les cantons étudiés. Les options suivantes sont à leur disposition:

- ▶ lois et interdictions: valeurs limites de pollution, directives en matière d'aménagement;
- ▶ instruments économiques et financiers: subventions, taxes ou impôts;
- ▶ instruments relatifs aux services et aux infrastructures: aider à l'exécution, infrastructures;
- ▶ accords: contrats, labels de qualité;
- ▶ instruments de communication: brochures, formations.

Les lois et les interdictions jouent un rôle important dans tous les cantons étudiés. En revanche, les instruments économiques et financiers ou les accords sont assez peu utilisés. A l'avenir, une meilleure combinaison des instruments sera nécessaire. Ces derniers doivent en outre être coordonnés. L'élaboration d'une stratégie cantonale de l'eau constitue un bon moyen de parvenir à cet objectif. Dans le cadre de sa stratégie de l'eau (2010), le canton de Berne (BE) a accumulé de précieuses expériences en la matière.

Bilan et conclusion

Le développement socio-économique et les conséquences du changement climatique ont conduit à une augmentation des besoins en matière de gouvernance et de gestion de l'eau. Une meilleure coordination entre les riverains en amont et en aval s'impose de plus en plus. Par ailleurs, une trop grande fragmentation de l'administration est néfaste et a des impacts négatifs sur la collaboration avec les communes, en ce sens qu'elle exclut la mise en place d'une politique homogène ou d'un interlocuteur unique. Lorsque l'utilisation et la protection des eaux sont réparties entre plusieurs directions cantonales ou que la «distance organisationnelle» est importante, les cas de conflits doivent toujours être réglés au niveau gouvernemental. Au niveau de la Confédération, les «Idées directrices pour une gestion intégrée des eaux» (2011) bénéficient d'un large soutien de la part de l'ensemble des acteurs concernés. Malheureusement, une stratégie nationale de gestion des eaux fait encore défaut. Les interventions dans le domaine de l'eau restent encore trop cantonnées à des secteurs ou à des problèmes spécifiques. Les cantons qui investissent dans leur propre gouvernance de l'eau sont plus aptes à s'adapter aux changements prévisibles du régime des eaux. De nombreux cantons ont encore des progrès à faire à cet égard. L'expérience en matière de planification et de stratégies intersectorielles est encore relativement peu développée.

Recommandations

Les cantons peuvent mieux exploiter leur marge de manœuvre dans le cadre de la souveraineté qu'ils exercent sur les ressources en eau. Ils peuvent analyser l'importance des secteurs de l'eau dans leur région et sélectionner la combinaison d'instruments appropriée en vue de renforcer leur gouvernance de l'eau.

Une collaboration dépassant le simple secteur de l'eau s'impose. L'élaboration des stratégies de l'eau pourrait consolider cette collaboration, tant au niveau de la Confédération qu'au niveau cantonal.

«IWAGO a montré comment améliorer progressivement la gestion de l'eau en Suisse.»

Olivier Chaix, IWAGO.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Une réforme en douceur pour davantage de gestion intégrée des eaux

En collaboration avec des spécialistes, le PNR 61 a développé un agenda en vue du renforcement de la gestion durable de l'eau en Suisse. Des mesures s'imposent au niveau de la Confédération et des cantons, de même qu'un programme de soutien pour les projets régionaux de GIE.

La voie suisse

Pour résoudre les problèmes d'eau de demain, il ne suffit pas d'optimiser les processus de gestion. Il est nécessaire d'adapter la gouvernance en profondeur. L'impulsion doit venir ici de la Confédération. Celle-ci doit laisser suffisamment de libertés aux cantons. D'après les résultats de la ST 4 (Gouvernance durable de l'eau: enjeux et voies pour l'avenir), des progrès doivent être réalisés dans les domaines suivants:

- ▶ intégration: concertation horizontale et verticale dépassant les frontières spatiales, les secteurs et les niveaux de pouvoir;
- ▶ clarté et fonctionnalité des structures et des processus, en particulier des mécanismes de résolution de conflit;
- ▶ participation: participation active et transparente des acteurs concernés;
- ▶ capacité d'adaptation: mise à disposition de ressources suffisantes; capacité de diffuser de nouvelles connaissances et de les mettre en pratique.

Les progrès reposent à la fois sur des projets étatiques et sur des processus d'apprentissage et de négociation. Il est important de créer des conditions favorables afin de pouvoir lancer ces processus et les mener à bien. Ce qu'il faut: des exigences, des mesures d'incitation et des programmes. Il serait inadéquat de procéder à une mise en œuvre uniforme de la GIE dans les bassins versants d'une Suisse caractérisée par le fédéralisme. Une analyse des bassins où une «gestion intégrée des eaux» (GIE) est nécessaire et judicieuse pourrait se révéler constructive.

La GIE et en particulier la gouvernance de l'eau peuvent être renforcées en Suisse sans qu'il soit nécessaire de créer de nouvelles institutions. En parallèle, il convient de montrer comment des décisions prises dans d'autres domaines politiques influent sur l'utilisation de l'eau et les possibilités d'adaptation aux conséquences potentielles du changement climatique.

Système cible

La synthèse thématique (ST) 4 fait, à ce sujet, une proposition qui concerne tous les niveaux de la durabilité. Ce regard global est encore peu ancré dans la pratique.

Avec ce système cible, les participants et les acteurs concernés peuvent développer une interprétation des problèmes et une vision communes pour l'avenir. Pour ce faire, MONTANAQUA a élaboré la méthode dite de la roue de la durabilité. Les acteurs définissent ensemble des objectifs concrets. Ceux-ci peuvent ensuite être ajustés de manière à être mesurables pour les différents secteurs.

Renforcement de la politique de l'eau de la Confédération

Outre le projet de stratégie nationale de l'eau, il est également question de l'harmonisation matérielle de la législation relative à l'eau, de la promotion de l'échange des connaissances et du contrôle de l'adéquation des subventions et des mécanismes de promotion avec les principes de la gestion durable de l'eau. Une stratégie nationale permet de relier entre elles les stratégies partielles de la Confédération et de les compléter. Par ailleurs, elle donne une impulsion positive pour améliorer la collaboration entre les différents acteurs. Elle peut également mettre en évidence des moyens pour résoudre les conflits.

Une autre solution consisterait à édicter une loi ou une loi-cadre sur l'eau. Cependant, l'investissement et les risques que suppose un tel processus politique sont considérables. Selon les spécialistes interrogés, ce sont les améliorations matérielles qui sont à mettre aujourd'hui au premier plan. La création d'une stratégie de l'eau

permet d'ouvrir la voie à ce type d'améliorations. Il est également possible d'y parvenir en adaptant la législation:

- ▶ introduction d'un devoir de planification intégrée à un niveau supracantonal dans les bassins versants, si la situation l'exige;
- ▶ contributions financières aux projets sous condition de l'existence de planifications intégrées et d'institutions responsables au niveau du bassin versant.

Par ailleurs, il faudrait continuer à investir dans des aides à l'exécution, des modèles ou des projets pilotes. En Suisse, les formations et l'échange de connaissances ont souvent davantage d'impact que les directives.

Lois et stratégies cantonales sur l'eau

Tous les projets de GIE couronnés de succès et étudiés par IWAGO ont été planifiés et mis en œuvre par les cantons ou en collaboration avec eux. Les projets du PNR 61 ont recensé une série de nou-

velles tâches que les cantons doivent assumer pour garantir une gestion durable de l'eau selon les circonstances (voir tableau).

Les cantons peuvent adopter différentes méthodes pour renforcer la gouvernance de l'eau – par exemple une loi cantonale sur l'eau, une stratégie de l'eau ou des planifications reposant sur la récente révision de la loi fédérale sur la protection des eaux (2011). Le canton de Fribourg (FR) a misé sur une nouvelle loi sur l'eau tandis que le canton de Berne (BE) a opté pour une stratégie de l'eau cantonale. Les cantons sont dépendants de la coopération et des initiatives des communes. Aujourd'hui encore, les solutions judicieuses d'ordre général telles que les projets régionaux de GIE se heurtent souvent à des résistances. L'implication précoce des acteurs concernés peut constituer un premier pas permettant de les rallier à ces solutions.

Les projets de GIE couronnés de succès bénéficient d'une bonne communication. Mais en définitive, les possibilités permettant d'imposer par voie

Tab. 9: système cible (synthèse thématique ST 4).

Dimension de la durabilité		Critère	Description
Efficacité économique	W1	Optimisation de l'utilisation de l'eau	Les besoins économiques des usagers de l'eau sont satisfaits.
	W2	Organisation efficace et économique des utilisations de l'eau.	Les utilisations de l'eau engendrent des coûts moindres à long terme (coûts d'investissement, d'exploitation et d'entretien).
	W3	Protection des zones urbaines et des infrastructures contre les crues	Les dommages sont réduits.
Responsabilité écologique	U1	Préservation des espaces naturels et de la biodiversité dans les cours d'eau et autour	La nature peut se développer de manière diversifiée et naturelle dans les cours d'eau et autour d'eux.
	U2	Quantité d'eau	Pas de surexploitation; les quantités résiduelles d'eau doivent suffire.
	U3	Qualité de l'eau et des cours d'eau	Les eaux souterraines et de surface ne sont pas dégradées par des polluants chimiques ou biologiques ni par des températures trop élevées ou trop basses.
Solidarité sociale	S1	Équité et solidarité	Les coûts, les avantages et les risques sont répartis équitablement entre les participants; et aux niveaux régional et social, entre les parties intéressées et les générations.
	S2	Préservation des valeurs socioculturelles	L'importance des eaux pour l'âme, la culture, la détente et le tourisme reste préservée.
	S3	Promotion et protection de la santé de l'homme	La disponibilité en eau potable saine et l'assainissement hygiénique des eaux sont garantis.

Tab. 10: nouvelles tâches potentielles des cantons, sur la base des résultats des projets du PNR 61.

Thème	Tâches des cantons
Recul des glaciers	<p>Suivi des modifications et évaluation continue des risques potentiels</p> <p>Etudes destinées à évaluer le potentiel (énergie, tourisme) et les risques liés aux nouveaux lacs</p> <p>Adaptation du périmètre de protection de la nature et des paysages aux modifications constatées en haute montagne</p> <p>Prise en compte des modifications du paysage et de l'environnement dans les domaines de la politique, du droit et des décisions (p. ex. concessions)</p>
Fortes précipitations, crues et charriage	<p>Cartographie de la capacité de stockage des bassins versants «critiques» dans le cadre de la formation des crues</p> <p>Etude des répercussions du changement climatique sur le régime de charriage dans les cours d'eau connaissant des modifications dues au changement climatique</p> <p>Protection de tronçons de cours d'eau proches de l'état naturel servant de refuge pour les poissons, en particulier dans les cours d'eau caractérisés par de fréquents étiages</p>
Avenir des ressources en eau	<p>Recensement et analyse systématiques des systèmes d'eaux karstiques</p> <p>Suivi permettant une détection précoce des situations susceptibles de donner lieu à une surexploitation des réserves en eau</p> <p>Protection des aquifères importants, par exemple par des mesures d'aménagement du territoire</p>
Sécheresse estivale et étiage	<p>Collaboration dans le développement de nouveaux réseaux de mesures relatives à l'humidité du sol, aux eaux souterraines et à l'évaporation</p> <p>Projets GiE dans les régions menacées par la sécheresse et les étiages</p> <p>Dispositifs pour les périodes de sécheresse extrême</p>
Domaines dans lesquels les besoins en eau de l'agriculture augmentent	<p>Etudes ou processus de dialogues régionaux en vue de renforcer l'adaptation au climat dans l'agriculture</p> <p>Mesures réglementaires dans les régions menacées par une surexploitation de l'eau (contingents d'eau)</p>
Canaux d'irrigation et paysages ruraux alpins	<p>Projets de sécurisation et de modernisation durables des systèmes d'irrigation traditionnels</p> <p>Indemnisation des prestations écologiques supplémentaires que l'agriculture fournit avec l'irrigation</p>
Pression accrue de l'urbanisation et des besoins d'utilisation	<p>Projets de GiE dans les régions soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation</p> <p>Soutien aux GiE régionales dans les bassins versants au moyen d'incitations et de mesures de planification et d'encouragement Recherche d'accompagnement écologique des mesures concernant les cours d'eau fortement pollués</p> <p>Planification régionale de l'assainissement des eaux</p> <p>Prise en compte des intérêts de la gestion durable de l'eau dans les mesures d'aménagement du territoire (p. ex. plan directeur)</p>
Eau potable issue des réserves d'eau souterraines	<p>Promotion des analyses étudiant les répercussions possibles du changement climatique sur les approvisionnements en eau qui sont essentiellement alimentés par infiltration d'eau fluviale</p> <p>Promotion de la collaboration régionale entre les services d'approvisionnement en eau</p>



administrative la participation des acteurs dans le secteur de l'eau à des fins d'intérêt public sont minces. Les instruments de financement cantonaux doivent être orientés de manière à encourager une approche intégrée. Pour tous les projets, les cantons devraient exiger une approche par bassin versant. Les subventions sectorielles, parfois contradictoires, devraient être supprimées.

Encouragement des projets régionaux de GIE

Une régionalisation accrue associée à la GIE dans les bassins versants peut permettre de résoudre plus efficacement les problèmes qui se poseront à l'avenir. La Confédération et les cantons peuvent aussi renforcer la régionalisation par des mesures d'incitation financière. Par exemple:

- ▶ régionalisations selon les limites administratives ou les regroupements de communes existants (cantons, régions de planification, communes);
- ▶ régionalisations à affectation spéciale, axées sur les problèmes du secteur de l'eau.

La régionalisation selon les limites administratives ou les regroupements ne convient pas partout, le problème étant que les cours d'eau suivent souvent les frontières entre ces unités. Pour résoudre les problèmes, il est donc nécessaire d'impliquer plusieurs unités politiques. Les régionalisations à affectation spéciale (espaces fonctionnels) présentent des avantages. Elles peuvent notamment se concentrer sur les pro-

blèmes d'eau à résoudre. De nombreux projets de GIE concernent des périmètres de 300 à 500 km². Selon les circonstances, il se peut que, dans l'approche des espaces fonctionnels, les périmètres des projets de GIE se chevauchent. Il n'existe pas de modèle standard ni de solution applicable partout. Les problèmes doivent être abordés selon leur degré d'urgence.

IWAGO a discuté des facteurs de réussite et des mesures de renforcement de la GIE en Suisse avec des spécialistes en gestion des eaux. Il serait possible de mettre sur pied un programme de soutien comme suit:

- ▶ la définition d'une stratégie nationale de l'eau permet de soutenir les efforts des cantons. Elle les oblige à réaliser une étude préliminaire globale pour la GIE dans les bassins versants et à présenter un rapport à la Confédération;
- ▶ une fois cette étude préliminaire achevée, la mise en œuvre de la GIE, dans les cas appropriés, relève de la responsabilité des cantons. La Confédération offre un appui et un accompagnement par le biais d'idées directrices et d'instructions pratiques;
- ▶ la Confédération verse aux cantons des subventions pour les frais supplémentaires occasionnés par ces planifications intégrées. Elle vérifie le caractère opportun d'autres mesures d'incitation financière pour la promotion de projets régionaux de GIE et contrôle si les instruments de financement sectoriels suscitent des conflits ou des incitations inopportunes;

A gauche: impliquer les acteurs concernés en temps utile peut constituer un premier pas permettant d'emporter leur adhésion face aux solutions élaborées. Photo Emmanuel Rey

Au milieu: la gestion intégrée de l'eau par le biais de régionalisations à affectation spéciale fonctionne lorsqu'il y a un véritable problème à résoudre. Le lac de Sempach (LU) en est un exemple: en 30 ans, il était de nouveau propre. Photo Ueli Raz

A droite: la participation est primordiale. Elle contribue à garantir le soutien des acteurs ainsi que de la population aux projets, ce qui permet de bénéficier du savoir-faire de la région. Photo Max Maurer

«Les autorités du canton du Valais ont réalisé que les ressources en eau s'amenuisaient et qu'il était nécessaire d'adopter une gestion intégrée.»

Martin Funk, FUGE, ETH Zurich.

- ▶ la Confédération est responsable du suivi de la planification et de la mise en œuvre de la GIE en Suisse.

Les spécialistes ne jugent pas utile d'adapter le droit fédéral à ce sujet. Ils échangent également leurs points de vue sur des propositions supplémentaires:

- ▶ établir des conseils de bassin versant sur le modèle de la conférence régionale;
- ▶ mettre davantage en avant la valeur ajoutée créée pour les groupes d'acteurs et la communauté;
- ▶ investir dans des données fiables sur les fluctuations saisonnières dans le régime des eaux et les besoins en eau.

Cette réforme en douceur pour davantage de GIE est-elle réaliste?

La proposition du PNR 61 – politique fédérale, lois ou stratégies cantonales, projets régionaux de GIE – permet d'aboutir à des solutions différenciées. Elle est efficace, peut être mise en œuvre à moindres coûts et rencontre l'adhésion massive des participants et des acteurs concernés. Cependant, sa mise en œuvre peut se heurter aux résistances suivantes:

- ▶ en règle générale, les services administratifs ne collaborent que sous réserve de la concordance de leurs objectifs politiques;
- ▶ l'autonomie des communes et les droits de propriété sont un bien précieux;
- ▶ la collaboration entre l'aménagement du territoire et la gestion des eaux n'en est qu'à ses débuts;
- ▶ les expériences en matière de péréquation financière ou de transfert d'argent entre les communes ou les secteurs (p. ex. stations d'épuration des eaux usées) restent insuffisantes;
- ▶ au niveau cantonal, l'existence de bases légales sur l'exécution d'une GIE régionale fait encore largement défaut.

La gestion durable de l'eau comme processus d'apprentissage

Le PNR 61 a également élaboré une perspective sociologique pour la gouvernance de l'eau. La participation est importante dans ce cadre: elle favorise le soutien des projets par les acteurs concernés et la population, ce qui permet de bénéficier du savoir-faire de la région. La capacité d'adaptation est également un facteur important. Elle suppose une capacité d'apprentissage ainsi qu'une confiance mutuelle. Les acteurs doivent démontrer leur capacité à procéder à une remise en question critique des valeurs sous-jacentes aux routines et aux processus et de leur contribution à la durabilité des utilisations de l'eau. D'un point de vue sociologique, il est nécessaire de disposer de structures fonctionnelles. Il n'est possible de régler les conflits qu'à partir du moment où les droits et les devoirs de chacun sont clairement définis.

Comment financer la GIE?

L'exemple du transport d'agglomération montre comment le financement pourrait fonctionner sur la base d'un concept intégral. Ce type d'approche est très rare dans l'économie des eaux. Les mécanismes de financement et de subventionnement fragmentés de la Confédération et des cantons apparaissent comme un obstacle à la définition de visions globales. Les taxes (p. ex. taxes d'assainissement des eaux usées) ne doivent pas être affectées à d'autres fins que les leurs. Les financements croisés ne sont pas acceptés. Il est important que les instruments de financement soient conçus de manière à inciter à l'adoption d'approches intégrales. Les subventions sectorielles devraient être supprimées dans la mesure du possible.

Recommandation

Les propositions du présent chapitre correspondent à un programme réaliste visant le renforcement de la gestion durable de l'eau en Suisse. Elles doivent faire l'objet de discussions approfondies.

Planification d'infrastructures hydrauliques durables

Les régionalisations à affectation spéciale (espaces fonctionnels) pour les projets de GIE apparaissent souvent dans le cadre de la planification ou de la résolution de problèmes liés aux infrastructures hydrauliques. A cet égard, le PNR 61 a élaboré des méthodes.

Des planifications faisant office d'éléments déclencheurs

La collaboration régionale dans le secteur de l'eau prend de plus en plus d'importance. La protection contre les crues ou les projets de clarification des structures (régionalisation) pour l'épuration des eaux usées ou l'approvisionnement en eau potable illustrent ce phénomène. Depuis 1985, le canton d'Argovie (AG) mise par exemple sur la régionalisation de l'épuration des eaux usées. A l'heure actuelle (2013), dix regroupements ont été opérés entre des stations d'épuration en phase d'études, de planification ou de réalisation. Les résultats du PNR 61 montrent que le système des infrastructures hydrauliques englobe l'ensemble de l'espace des cours d'eau et l'utilisation du sol dans le bassin versant. Il ne se limite pas aux constructions. L'utilisation du sol et le développement urbain font partie du système. De plus, les infrastructures hydrauliques sont la plupart du temps planifiées pour de longues périodes. Il est donc nécessaire d'adopter des visions communes et de veiller à l'harmonisation des objectifs et des stratégies entre les participants et les acteurs concernés. Tel est le point de départ des projets de GIE.

Aujourd'hui, chaque acteur s'appuie, dans le cadre de la planification de son infrastructure, sur des objectifs spécifiques, généralement définis à court terme. Ainsi, on attend des services d'approvisionnement en eau potable qu'ils produisent à tout moment une quantité d'eau suffisante et de première qualité. En revanche, la question de l'irrigation concerne uniquement l'agriculture. Si les ressources se font rares, cette fragmentation devient un obstacle. Ce phé-

nomène apparaît aujourd'hui en particulier dans les zones de concentration urbaine soumises à la pression de l'urbanisation.

Etapes du processus de planification

Le projet SWIP a élaboré et testé de nouveaux instruments pour la planification des infrastructures de gestion des eaux urbaines. Il a également abordé le problème des conditions-cadres futures incertaines (période prise en compte: 2010 à 2050). Les spécialistes ont élaboré des scénarios relatifs au développement socio-économique futur. Ils ont défini des options concernant les mesures techniques et organisationnelles à examiner dans le cadre du processus de planification, qui ont été directement intégrées à la simulation des besoins en investissement dans l'infrastructure.

Ces planifications requièrent le savoir-faire de spécialistes afin d'évaluer l'infrastructure existante. Le projet SWIP s'est penché sur le processus de vieillissement et les performances futures du réseau de canalisations, le projet SEDRIVER sur la stabilité des ouvrages de protection des berges dans le cadre de la protection contre les crues. Le changement climatique en haute montagne a un impact sur le régime de charriage des rivières et, par conséquent, sur la stabilité des ouvrages de protection des berges.

Analyse décisionnelle multicritère

Les projets SWIP et IWAQA ont travaillé dans une zone soumise à une forte pression liée à l'urbanisation et aux besoins d'utilisation. Ils ont vérifié l'applicabilité de cette méthode pour l'évaluation des possibilités d'action. A l'avenir, cette méthode pourrait venir en compléter d'autres, telles que l'analyse de l'efficacité ou l'analyse coûts-avantages.

L'analyse décisionnelle multicritère prévoit la définition d'objectifs revêtant une importance pour la durabilité des infrastructures. Différentes possibilités d'action sont élaborées en parallèle. Dans le cadre du projet SWIP, celles-ci concernaient les différents aménagements techniques et organisationnels de l'approvisionnement en

Tab. 11: contributions des projets PNR 61 à la planification d'infrastructures hydrauliques.

Infra-structure	Projet PNR 61	Bases	Méthodes de planification
Irrigation	AGWAM	×	×
	DROUGHT-CH	×	
	WATERCHANNELS	×	
Energie	MONTANAQUA	×	×
	FUGE	×	×
	NELAK	×	
Eau potable	SWIP	×	×
	GW-TREND	×	
	SWISSKARST	×	×
Eaux usées	RIBACLIM	×	
	GW-TEMP	×	
	MONTANAQUA	×	
Protection contre les crues	SWIP	×	×
	IWAQA	×	
Protection contre les crues	HYDROSERV		×
	SACFLOOD	×	×

Les méthodes sont décrites de façon pragmatique dans la synthèse thématique 3 (ST3) «Approvisionnement en eau et assainissement des eaux usées durables en Suisse: défis et mesures possibles». L'Eawag met aussi à disposition des ressources en ligne.

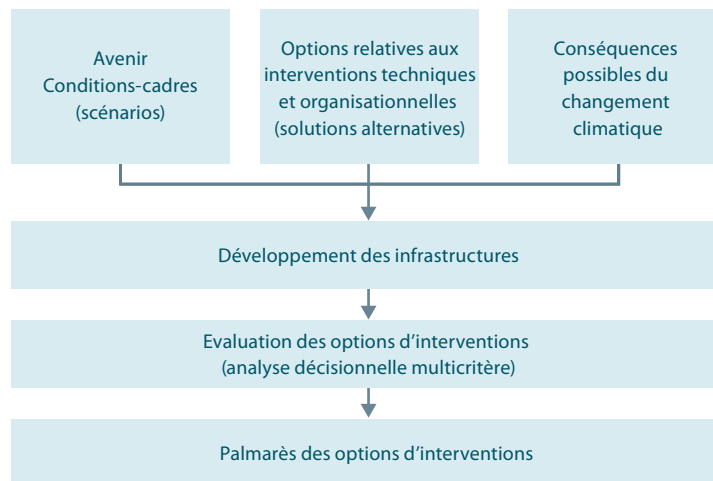
eau et de l'épuration des eaux usées. L'analyse décisionnelle multicritère est un processus nouveau en Suisse. Afin de la faire connaître davantage, il est nécessaire de mettre sur pied des formations pour les bureaux d'ingénieurs et de conseil. Cette méthode peut notamment permettre de factualiser les décisions fortement conflictuelles. Les possibilités d'action sont évaluées sous l'angle financier et sous l'angle de la réalisation des différents objectifs. Les préférences des acteurs concernant les objectifs sont recensées.

Les différentes étapes se présentent comme suit:

- ▶ définir le problème pour lequel des décisions sont en suspens et déterminer les limites du système. Une analyse des acteurs concernés permet de définir qui doit être associé au processus de planification;
- ▶ définir des objectifs et veiller, lors du choix d'attributs, à ce qu'ils soient mesurables. L'équipe de projet SWIP recommande de débattre du système cible dans le cadre d'un atelier réunissant les participant(e)s;
- ▶ développer des solutions alternatives. Il est important d'élaborer un vaste éventail de solutions alternatives (possibilités d'action) avec les acteurs dans le cadre d'un processus créatif;

- ▶ réaliser des prévisions pour chaque solution alternative. Pour chaque possibilité d'action, l'adéquation de la réalisation avec l'objectif ou l'attribut défini est calculée. Des estimations de spécialistes ou des modèles sont nécessaires à cet effet. A l'avenir, ces tâches pourraient être assumées par des bureaux d'ingénieurs;
- ▶ recenser les préférences des acteurs. Cette étape est décisive dans l'analyse décisionnelle multicritère. On demande aux acteurs de préciser l'importance que revêt à leurs yeux la réalisation d'un objectif. Les spécialistes de l'analyse décisionnelle multicritère identifient ainsi les «fonctions de valeurs» en transposant les attributs, par exemple les coûts ou le niveau de pollution des cours d'eau, sur une échelle neutre de 0 à 1;
- ▶ évaluer les «trade-offs» et sélectionner des solutions alternatives. Dans cette étape, les prévisions «objectives» de l'étape 4 sont associées aux préférences «subjectives» des acteurs (étape 5). Les possibilités d'action devant faire l'objet d'une discussion approfondie avec les acteurs sont recensées;
- ▶ assurer la mise en œuvre, le suivi et le contrôle.

III. 36: planification à long terme d'infrastructures hydrauliques durables. SWIP



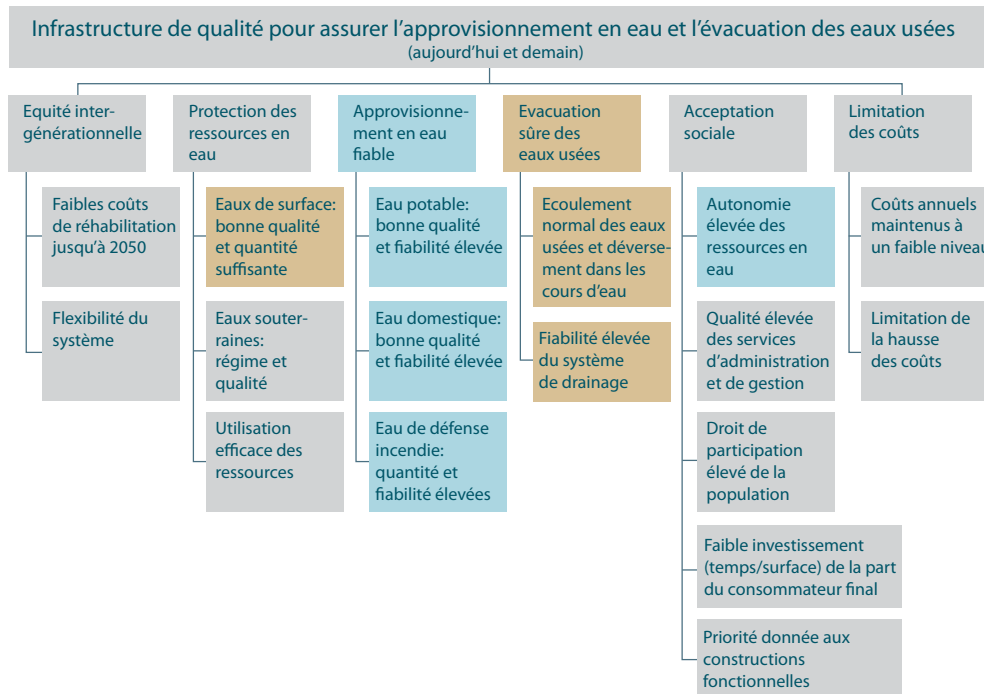
Un système cible pour une infrastructure hydraulique durable

Le projet SWIP a élaboré, en collaboration avec les acteurs de la gestion des eaux urbaines, un système cible utile pour d'autres planifications. Chaque objectif a été décrit avec des attributs de façon à être mesurable. Par ailleurs, chaque personne a évalué l'importance des objectifs. Les expériences réalisées dans le cadre du projet SWIP peuvent servir à d'autres applications de l'analyse décisionnelle multicritère dans le domaine de la gestion des eaux urbaines.

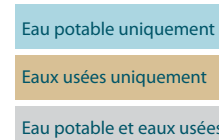
Quelles sont les composantes nécessaires à la réussite?

Les expériences réalisées dans le cadre du projet SWIP permettent d'évaluer les facteurs contribuant à la réussite des procédés soutenus par l'analyse décisionnelle multicritère:

- ▶ il doit s'agir d'un problème décisionnel réel complexe. Il est nécessaire que les acteurs soient intéressés par une solution durable et consensuelle;
- ▶ il est important que les acteurs clés soutiennent l'application de cette méthode relativement complexe;
- ▶ la participation des acteurs aux ateliers et aux interviews doit être clairement définie et réglée de sorte à être contraignante.



III. 37: système cible pour une économie durable des eaux urbaines. SWIP



Calcul des services écosystémiques hydrologiques

Dans les projets régionaux de GIE, il se peut que surgisse la question de la quantification des «services écosystémiques hydrologiques» (HES) fournis par les riverains en amont et de l'indemnisation par les riverains en aval. A cet égard, le PNR 61 a élaboré des méthodes ad hoc. Il a également montré que les possibilités d'application en Suisse étaient inférieures aux prévisions.

L'évaluation des services écosystémiques hydrologiques doit être faite au moyen d'une enquête fondée sur des questions simples et compréhensibles.

Analyses régionales

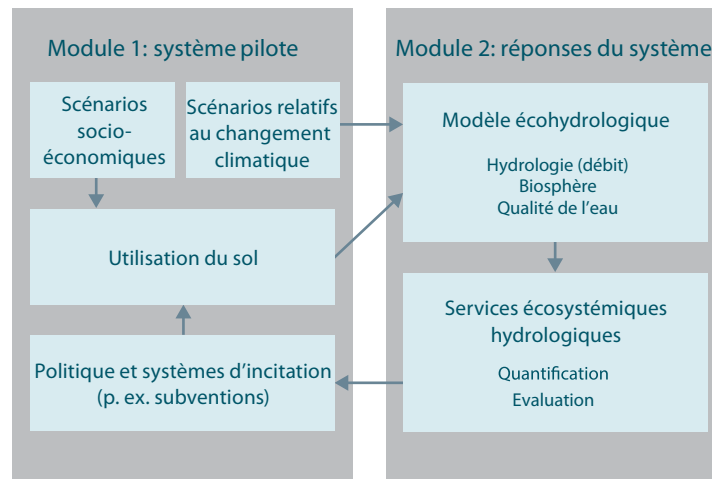
Les «services écosystémiques hydrologiques» (HES) désignent toutes les prestations relatives à l'eau fournies par les écosystèmes, par exemple le bassin versant d'une rivière. Ces prestations concernent les domaines de l'eau potable, de la protection contre les crues ou des eaux usées. Cette approche est déjà largement ancrée dans les pays où de fortes précipitations tropicales déterminent le régime des eaux ou dans lesquels l'utilisation du sol est nettement moins régulée. Le projet HYDROSERV a vérifié l'applicabilité de cette approche en Suisse et a analysé les liens

entre l'utilisation du sol et les HES. Les informations collectées permettent d'épauler les milieux politiques et administratifs lors de l'élaboration de mesures régionales. Parmi les mesures envisageables, l'on peut nommer les systèmes d'incitation financière en faveur d'une modification de l'utilisation du sol en amont d'une rivière, sous réserve que les riverains en aval puissent en retirer un bénéfice.

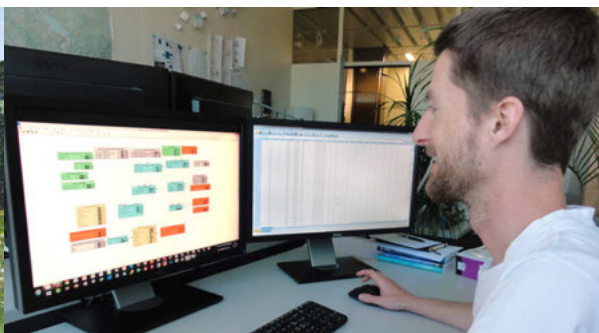
Approche des systèmes

Les analyses d'HYDROSERV s'étendent jusqu'à l'horizon 2030. L'utilisation du sol et son éventuelle modification ont été recensées et modélisées au niveau régional. L'approche méthodologique appliquée permet de prendre en compte les répercussions des différents scénarios de politique agricole et urbaine sur l'utilisation du sol.

Les modèles d'utilisation du sol ont été associés aux modèles hydrologiques. Les chercheurs ont analysé le mode de répercussion du changement climatique et des modifications de l'utilisation du sol sur les HES. Ils se sont posé la question de savoir si la valeur des HES pouvait inciter à des modifications dans l'utilisation du sol. Le projet a ensuite réuni les analyses par-



III. 38: approche du système pour la quantification des HES



tielles dans un «réseau bayésien». Cette méthode a permis de relier les systèmes naturels et les systèmes sociaux. Les résultats des modélisations ont été abordés avec les participants et les acteurs concernés. Il est apparu qu'il est encore difficile d'associer ces systèmes dans le contexte suisse actuel.

Enquête sur les préférences

Les informations concernant les préférences de la population et sa disposition à payer jouent un rôle important dans la valorisation des HESS. Le projet HYDROSERV a donc réalisé une enquête en appliquant la méthode «Choice Experiment»: les personnes interrogées devaient choisir entre deux mesures ou scénarios impliquant des coûts différents. La disposition à payer pour ces mesures a été évaluée à partir de ces préférences.

Dans cette enquête, le projet s'est limité aux HESS relatifs à la protection contre les crues. La discussion a porté sur les alternatives concernant la couverture forestière, la croissance démographique et le développement urbain. Dans l'Entlebuch (LU), l'enquête a été influencée par le fait que le parti le mieux représenté de la région a conseillé à son électorat de privilégier le statu quo de façon cohérente dans les questionnaires. Pour ce faire, il a même lancé un appel dans la presse quotidienne.

Quelle est la valeur ajoutée générée par ces analyses?

Elles peuvent montrer l'importance de compromis entre les différents besoins d'utilisation. Les riverains en amont et en aval réfléchissent ainsi à des responsabilités communes et à une prise en charge conjointe des coûts. Dans l'idéal, ces analyses pourraient permettre de déterminer les répercussions des tendances ou des décisions politiques du secteur de l'agriculture/la sylviculture ou de l'aménagement du territoire sur le régime des eaux. Elles pourraient également aider à détecter les valeurs seuils relatives à la disposition de la population à payer pour les HESS. Les instruments politiques tels que les incitations financières relatives aux HESS n'ont qu'une incidence limitée sur le comportement décisionnel des acteurs dans des pays comme la Suisse. Pour être efficaces, ils doivent être associés à d'autres instruments. De plus, l'impact de l'utilisation du sol sur les HESS, et notamment l'apparition des crues dans une région comme celle de l'Entlebuch, semble plutôt faible.

A gauche: des représentations en 3D de paysages ont permis à la population de constater les impacts des mesures. HYDROSERV

Au milieu: des analyses de ce type se fondent sur des modèles complexes. Photo Andrea Ryffel

A droite: HYDROSERV a étudié les circonstances dans lesquelles les preneurs de décision se montraient disposés à reboiser les surfaces. HYDROSERV

Evaluation intégrée des cours d'eau

Pour assurer une exploitation durable des cours d'eau, il convient de tenir compte simultanément d'une multitude d'exigences socialement légitimées. Le projet IWAQA met à disposition une méthodologie permettant de traiter les conflits d'objectifs complexes.

De quoi est-il question?

Les procédés d'évaluation sont un élément important de la gestion des cours d'eau et de la GIE. L'évaluation d'indicateurs spécifiques permet de déterminer l'état et la dynamique d'un tronçon de rivière. Les déficits sont mis en lumière, ce qui permet de déceler les éventuels besoins d'intervention. De plus, les évaluations constituent un élément de base pour le suivi des modifications, y compris sur de longues périodes. Elles fournissent des explications sur la modification

de l'état d'un cours d'eau avant et après la mise en œuvre des mesures. Dans ce cadre, les questions ci-après se posent.

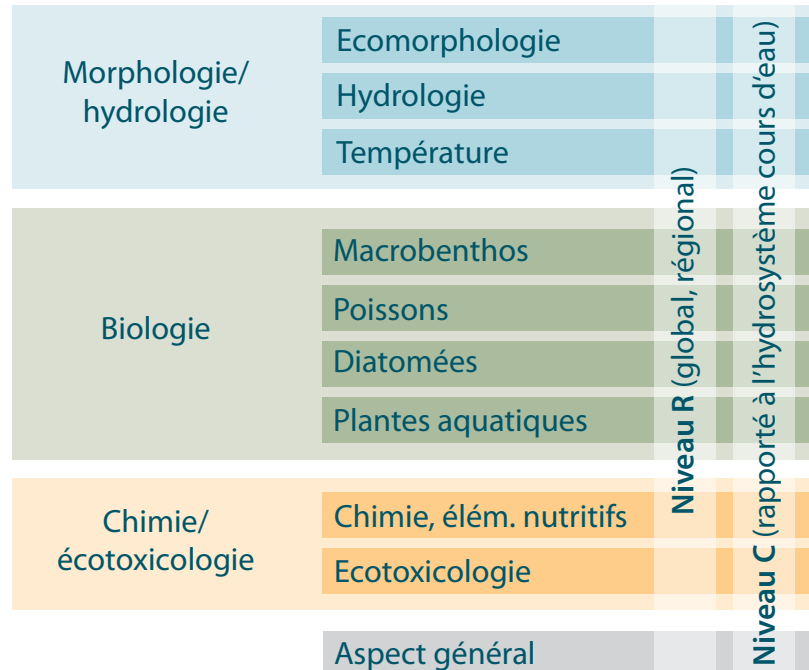
- ▶ Quels sont les effets de l'abandon d'une station d'épuration dans le cadre d'un programme de régionalisation?
- ▶ Quels sont les effets des renaturations de tronçons de cours d'eau selon la révision de la loi fédérale sur la protection des eaux?
- ▶ L'élimination des micropolluants dans 100 stations d'épuration des eaux usées a-t-elle l'effet escompté sur la qualité de l'eau?

Avancées réalisées

dans le système modulaire gradué

L'OFEV, l'EAWAG et les services cantonaux compétents élaborent des méthodes permettant une évaluation uniforme de l'état des rivières suisses. Le système modulaire gradué (SMG) a été lancé dès le milieu des années 1990. Il s'agit

III. 39: structure du système modulaire gradué (SMG) comprenant différents modules et niveaux. IWAQA





d'un dispositif d'aide destiné au contrôle des prescriptions légales dans le domaine de la protection des eaux. La méthodologie porte sur les éléments hydrologiques, morphologiques, chimico-physiques, écotoxicologiques et biologiques de la qualité de l'eau. Elle établit une distinction entre deux niveaux:

- ▶ du fait de son faible coût de traitement, le niveau R convient aux analyses nationales;
- ▶ le niveau C permet une évaluation détaillée, et par conséquent plus élaborée, de cours d'eau sélectionnés. Il permet de dégager des plans de mesures.

Le projet IWAQA a permis d'enrichir cette méthode. Il est parvenu à représenter les modules SMG existants sous forme de fonctions de valeurs à partir de méthodes issues de la théorie de la décision et à élaborer de nouveaux modules.

Valeur ajoutée pour la GIE

Ces évaluations apportent un soutien dans le cadre des projets de GIE le long des cours d'eau fortement sollicités, surtout dans les zones soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation. Elles permettent de recenser les effets des mesures prises notamment pour de la protection des eaux. Les résultats du projet IWAQA élargissent le champ d'application du SMG. Les décisions concernant les options à disposition pour la gestion des cours d'eau bénéficient d'un meilleur soutien. On gagne donc en flexibilité.

A gauche: les procédures d'évaluation constituent un élément important de la gestion des rivières fortement sollicitées. IWAQA

Au milieu: la chimie de l'eau est une partie essentielle de l'évaluation des eaux. RIBACLIM

A droite: le boisement des rives peut ralentir le réchauffement des eaux dû au changement climatique. AGWAM

Le PNR 61 présente la gestion régionale des eaux

Le lancement de la GIE et la modélisation de l'avenir de l'eau constituent un défi dans cette région marquée par la complexité du régime et de l'utilisation des eaux. Le projet MONTANAQUA montre comment faire collaborer la recherche et la pratique.

La gestion régionale intégrée des eaux (GIE) est particulièrement importante là où l'eau se fait rare. Le projet MONTANAQUA a élaboré une approche méthodologique pour la région de Crans-Montana-Sierre (VS). Les chercheurs et les acteurs de la région travaillent en étroite collaboration. Cette approche est intéressante pour les projets de GIE qui seront mis en place dans d'autres régions à l'avenir.

Approche systématique basée sur les connaissances

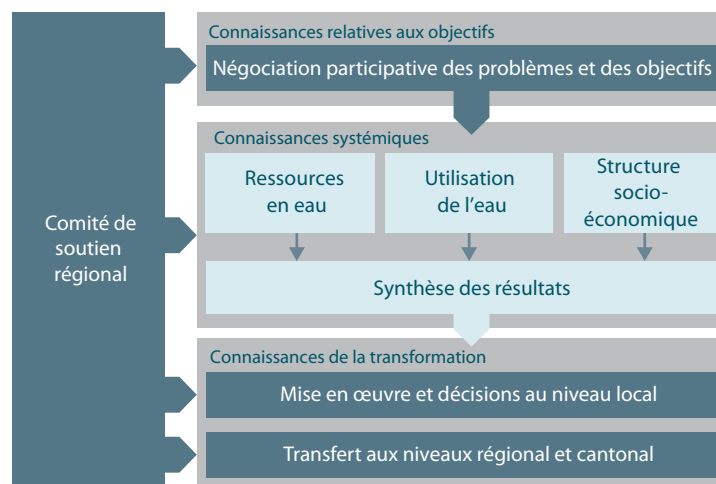
Pourquoi cette région?

Cette région de quelque 100 km² compte de nombreux usagers de l'eau, qui représentent divers intérêts: domaines skiables, viticulture, agriculture, approvisionnements en eau ou centrales hydrauliques. Les acteurs et les utilisations de l'eau qui sont ici en concurrence sont nombreux et répartis sur onze communes. La gouvernance de l'eau y est par conséquent complexe. Les droits traditionnels y jouent un rôle non négligeable.

De plus, cette région est la plus sèche de Suisse. Les précipitations annuelles dans le fond plat de la vallée (vallée du Rhône, VS) sont inférieures à 600 mm. Dans les montagnes (2500 m d'altitude), elles s'élèvent à 2500 mm. A cette hauteur, elles tombent principalement sous forme de neige.

La demande en eau dépasse déjà parfois l'offre disponible, surtout en hiver. Environ 15 000 personnes vivent sur le Plateau de Montana (VS). En haute saison, la population compte 50 000 personnes du fait de la présence des touristes. Le secteur du tourisme a besoin d'eau pour l'enneigement des pistes de ski, l'entretien des terrains de golf, l'irrigation des pelouses et des jardins et l'eau potable destinée aux hôtes. A l'avenir, l'eau pourrait encore se raréfier. Un grand réservoir d'eau, le glacier de la Plaine Morte dans la région du Wildstrubel (BE), est en train de fondre. D'ici à 2050, ce glacier de taille moyenne aura fondu en grande partie sous l'effet du réchauffement climatique. La population s'en inquiète. Les gens se demandent si leurs sources tariront quand le glacier ne sera plus là.

III. 40: un axe de recherche pour la GIE.
MONTANAQUA





Le glacier alimente aussi le lac de Tseuzier (VS), une retenue située à environ 1800 mètres d'altitude. En 1958, l'entreprise «Electricité de Lienne» a reçu la concession pour l'utilisation de l'eau de la part des communes d'Icogne, Ayent, St-Léonard et Sion. Lorsque l'eau se fait rare en hiver, les communes sont obligées, aujourd'hui déjà, de se procurer de l'eau auprès de la centrale hydraulique.

La recherche donne une impulsion à la GIE

Le projet MONTANAQUA montre qu'une telle région a besoin d'une approche systématique et basée sur les connaissances pour mettre en œuvre une GIE. La collaboration entre les domaines des sciences naturelles et des sciences sociales et l'implication des acteurs de terrain sont des facteurs-clés de réussite.

Les visions et options des participant(e)s et des acteurs concernés sont intégrées dans les connaissances relatives aux objectifs. En l'occurrence, le projet MONTANAQUA a pu compter sur le soutien d'un comité régional (RegiEau). Les milieux scientifiques se sont penchés sur la question du fonctionnement actuel du système observé et de son évolution sous l'effet du changement climatique selon différents scénarios socio-économiques. Sur cette base, ils ont élaboré des connaissances systémiques. Les chercheurs se sont posés des questions spécifiques, pour lesquelles ils ont dû élaborer de nouvelles méthodes.

- ▶ Comment associer et évaluer différents types de données, concernant par exemple la croissance démographique et le régime des eaux?
- ▶ Quels sont les scénarios réalistes pour le développement de la région? Comment inciter les acteurs à les concrétiser?

Enfin, les connaissances de la transformation ont fourni des bases pour la planification de la stratégie et des mesures de mise en œuvre de la GIE. Sont alors apparues des options qui permettent aux acteurs de la région de réorienter un système dans la direction souhaitée.

A gauche: la région Crans-Montana-Sierre présente une grande diversité en matière de régime des eaux et d'utilisation des eaux. MONTANAQUA

Au milieu: barrage du lac de Tseuzier. Photo Hanspeter Liniger

A droite: la région et les centrales hydroélectriques de Sierre ont pris part au groupe de suivi (RegiEau). MONTANAQUA

III. 41: région de Crans-Montana-Sierre (VS): la zone analysée par MONTANAQUA (100 km²).





A gauche: les représentants de la région se sont entendus sur quatre scénarios. MONTANAQUA

Au milieu: le développement du tourisme influe sur les besoins futurs en eau de la région. MONTANAQUA

A droite: si la situation évolue conformément aux réflexions de RegiEau, la croissance économique sera amortie par des réflexions sociales et écologiques.

Photo Emmanuel Rey

Connaissances des acteurs sur les objectifs

Pour garantir la réussite du projet MONTANAQUA, il était crucial d'intégrer dès le départ les parties prenantes et les personnes concernées au sein de la région. Dans ces régions, la GIE ne peut pas se limiter aux acteurs étatiques. Il convient en effet de parvenir à un consensus entre tous les acteurs de la région.

Engagement des chercheurs

Cette forme de recherche axée sur l'action représentait également un risque pour la réussite du projet. Ainsi, certaines communes se sont retirées du projet, car elles n'en acceptaient pas toutes les conclusions. Cependant, les chercheurs se sont impliqués dans l'expérience, se rendant aux comités des communes et participant aux réunions.

Des scénarios pour l'avenir

Le dialogue sur les visions d'avenir mené avec les acteurs de terrain a permis de mettre en évidence la palette des évolutions possibles dans la région. Il a ainsi été possible de définir des éléments de base décisifs pour évaluer les stratégies dans le domaine de l'utilisation de l'eau et des infrastructures hydrauliques. Quatre scénarios ont été élaborés pour 2050:

- 1 «Croissance»: on assiste à une croissance de l'économie, de la population et des agglomérations. L'agriculture perd du terrain. Il n'y a pas d'amélioration en matière de gestion des eaux. Le scénario partiel 1a prévoit une croissance forte, tandis que le scénario partiel 1b prévoit une croissance faible.
- 2 «Stabilisation»: la croissance est modérée. L'agriculture occupe une place toujours aussi importante. L'exploitation de l'eau est améliorée. L'irrigation nécessite davantage d'eau en raison du changement climatique.
- 3 «Modération»: sont placées au premier plan la qualité de vie et une croissance qualitative, non seulement pour les habitants, mais aussi pour le développement du tourisme.
- 4 «Compensation»: la croissance économique est amortie par des réflexions sociales et écologiques. La compensation sociale gagne en importance entre les acteurs et les communes.

Le quatrième scénario a été élaboré par «RegiEau». Les acteurs étaient quasiment unanimes pour dire que le développement de la région de Crans-Montana-Sierre (VS) pouvait aller dans ce sens.

«De tels projets contribuent à renforcer une perspective et un esprit globaux dans la région.»

*Maria-Pia Tschopp-Bessero,
Préfète, Sierre.*

Visionner le DVD pour en savoir plus.

La science élabore des connaissances systémiques

Les chercheurs se sont donné pour mission de concrétiser les problèmes, ce qui a contribué en grande partie à la réussite de ce projet de GIE. Les tâches de recherche, qui se sont révélées complexes, étaient articulées autour de deux domaines: les sciences naturelles et les sciences sociales.

Un agenda de recherche bien garni

Le projet MONTANAQUA a appliqué une méthode de travail interdisciplinaire. Les chercheurs se sont rencontrés régulièrement. Ils ont échangé les résultats obtenus et évalué la durabilité de la gestion des eaux dans la région. Le programme comprenait les étapes clés suivantes:

- ▶ élaboration des bases hydrologiques: relevés hydrologiques et météorologiques sur le terrain, études glaciologiques sur le glacier de la Plaine Morte (VS);
- ▶ documentation des utilisations de l'eau: analyses dans les onze communes, cartographie des utilisations, quantification des utilisations de l'eau;
- ▶ prévisions pour l'avenir: prévisions relatives aux ressources en eau disponibles, évaluation de l'influence du changement climatique, élaboration de scénarios de développement socio-économique, calcul du besoin en eau pour tous.

Régime naturel des eaux

Pour évaluer le régime des eaux et son évolution jusqu'en 2050, il était nécessaire d'effectuer des mesures et modélisations glaciologiques, hydrogéologiques et hydrométéorologiques. La délimitation du bassin versant a déjà occasionné des problèmes en raison de la géologie complexe (karst). Ceux-ci ont pu être résolus dans le cadre de la collaboration avec SWISSKARST, un autre projet du PNR 61. Etant donné que les données étaient limitées et que la zone de recherches n'était pas identique aux bassins versants

classiques, il a fallu utiliser des modèles hydrologiques de dernière génération.

Autre défi de taille pour les chercheurs: évaluer comment la fonte du glacier de la Plaine Morte (VS) se répercutera à l'avenir sur le régime des eaux et les approvisionnements en eau de la région. Ce glacier de taille moyenne présente une épaisseur de 200 mètres et un volume de glace de 0,8 km³. Il est situé dans une plaine karstique caractérisée par des voies d'écoulement souterraines complexes. Les analyses suivantes ont dû être réalisées:

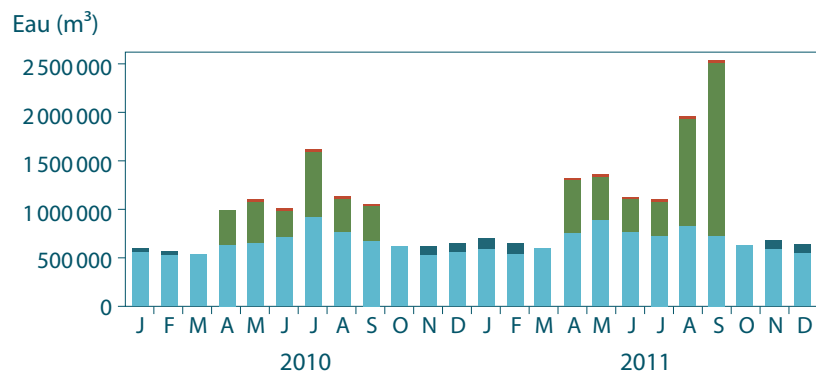
- ▶ le bilan de masse du glacier de la Plaine Morte – aujourd'hui et à l'avenir (évolution jusqu'en 2100) – a été modélisé;
- ▶ un modèle hydrologique du débit du glacier a décrit le volume d'eau de fonte fourni par le glacier, aujourd'hui et à l'avenir;
- ▶ un modèle hydrogéologique du sous-sol élaboré par SWISSKARST a émis des hypothèses relatives aux essais réalisés au moyen de traceurs;
- ▶ les essais de traçages ont été réalisés.

Les modélisations ont montré que le glacier aura disparu d'ici à 2080. Le débit augmentera jusqu'en 2050. Puis, on assistera à un recul considérable du débit estival et à une réduction du débit annuel. Les trois essais réalisés à grande échelle avec des traceurs fluorescents ont mis en évidence le fait que le ruissellement de surface du glacier, notamment, ne s'écoulait pas vers Crans-Montana-Sierre (VS), mais en grande partie vers la région de Lenk (BE), dans l'Oberland bernois.

Les répercussions de la fonte des glaciers sur le régime des eaux seront en partie pondérées par les décalages prévus en matière de précipitations du fait du changement climatique et par la hausse de la limite des neiges. A partir de 2080, on prévoit une baisse de 15% de l'eau disponible dans le bassin versant du lac de Tzeusier en été (20 à 30% en mai).

III. 42: utilisation de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre. L'année 2010 était relativement humide, tandis que 2011 était une année sèche. MONTANAQUA

- Eau potable
- Irrigation
- Enneigement des pistes
- Irrigation des terrains de golf



Tab. 12: besoins en eau d'aujourd'hui et de demain, selon les quatre scénarios de développement. Ecart en % par rapport aux années normales; entre parenthèses: besoins maximaux pendant les années sèches. MONTANAQUA

	Eau potable	Irrigation agricole	Arrosage des terrains de golf	Enneigement des pistes de ski	Total arrondi, (besoin max. entre parenthèses)	Force hydraulique
2010 – année normale	7,7	2,4	0,08	0,3	10,5	67,5
2011 – année de sécheresse	8,2	4,8	0,09	0,45	13,6	61,2
Besoin futur – vision 1a	+33,5%	-18,7%	+7,8%	+77%	+24% (+59%)	?
Besoin futur – vision 1b	+23,1%	-24,8%	+7,8%	+77%	+24% (+48%)	?
Besoin futur – vision 2	+7,6%	+32,6%	+14,5%	-19%	+19% (+60%)	?
Besoin futur – vision 3	-9,6/-16,8%	-34%	+6,8%	-100%	-13% (+18%)	?
Besoin futur – vision 4 (RegiEau)	+7,6%	-0,2%	+5,8%	-19%	-3% (+49%)	?



Consommation et gestion des eaux

Le projet MONTANAQUA a réalisé une enquête et une cartographie détaillée sur les utilisations de l'eau dans toute la région. Quatre systèmes différents ont été recensés: énergie hydraulique, eau potable, irrigation et exploitation à des fins touristiques. L'étude a ainsi montré les points suivants:

- ▶ il existe une grande fragmentation des systèmes sur les onze communes. Les frontières politiques ne correspondent pas aux frontières des bassins versants hydrologiques de la région;
- ▶ l'infrastructure hydraulique est archaïque et a été développée en l'absence de toute planification globale. Elle a suivi le développement du tourisme;
- ▶ le tourisme entraîne des pics d'utilisation;
- ▶ l'irrigation a également une origine historique. Il existe de nombreux droits traditionnels dans ce domaine;
- ▶ l'utilisation de l'énergie hydraulique (lac de Tzeusier) joue un rôle considérable dans la région.

Actuellement, l'énergie hydraulique requiert environ 88% du volume d'eau (2010). Les autres utilisations en sollicitent moins de 10% – 10,5 millions de m³ en 2010, et 13,6 millions de m³ en 2011. Cette consommation résiduelle de l'eau manque de clarté. Elle repose en partie sur d'anciens droits d'utilisation de l'eau des com-

munes. L'eau est encore souvent donnée gratuitement. Beaucoup de maisons ne disposent même pas de compteurs d'eau.

L'agriculture a besoin de volumes d'eau considérables pour l'irrigation. Par ailleurs, 12,5% du volume d'eau potable sont destinés à l'irrigation des jardins et des pelouses. Cette consommation varie selon les conditions climatiques. Les besoins sont les plus élevés (en été) quand l'eau est à son niveau le plus bas. La consommation d'eau pour l'exploitation d'installations touristiques (golf, enneigement des pistes) est négligeable en comparaison.

Comment les besoins en eau évolueront-ils?

Pour calculer les besoins en eau en 2050, les scénarios socio-économiques élaborés par les acteurs ont été combinés à des modèles climatiques. Cela a permis d'évaluer les besoins en eau futurs en matière d'irrigation. De plus, les scénarios ont été transposés sur des cartes d'utilisation du sol. Il a ainsi été possible de calculer les besoins maximaux et minimaux.

Dans les scénarios 1 et 2, les besoins en eau augmentent considérablement jusqu'en 2050. Dans les scénarios 3 et 4, ils diminuent. Les innovations techniques dans le domaine de l'irrigation, l'amélioration de la gestion des eaux ainsi que l'adhésion à un tourisme doux ont un impact positif.

A gauche: l'essai de traçage dans le glacier de la Plaine Morte a démontré qu'une partie de l'eau glaciaire s'écoulait dans l'Oberland bernois.

Photo Flurina Schneider

Au milieu: les besoins en eau pour les installations touristiques sont moindres que prévu.

MONTANAQUA

A droite: les besoins en eau pour l'irrigation augmenteront pendant les années de sécheresse.

WATERCHANNELS

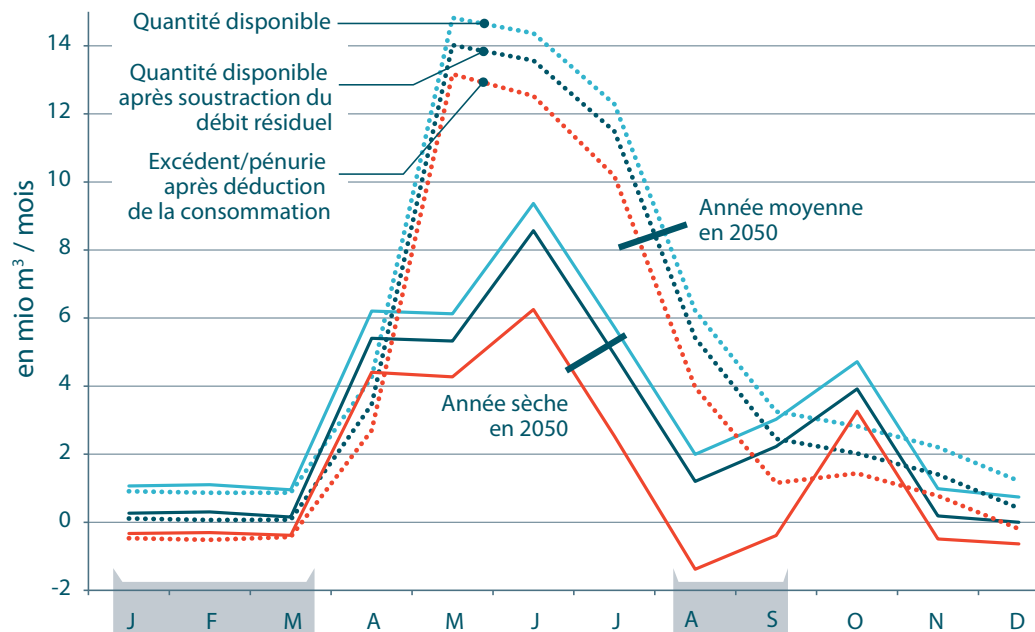
La région connaîtra-t-elle un stress hydrique en 2050?

En s'appuyant sur la comparaison entre les ressources disponibles et la demande, les chercheurs ont pu identifier les périodes critiques pendant lesquelles les ressources sont insuffisantes ou trop justes. Ces périodes sont marquées par un stress hydrique. A cet égard, les modélisations effectuées jusqu'en 2050 constituent une base utile. D'ici à 2050, le stress hydrique n'augmentera que de manière imperceptible, même si l'on continue d'agir comme aujourd'hui. La fonte du glacier apporte un supplément d'eau. Par ailleurs, le volume d'eau consommé est relativement faible. Il devient très difficile de procéder à des évaluations sur la consommation d'eau après 2050. La situation hydrologique changera radicalement puisque le glacier aura fondu.

Il se peut que la région connaisse un stress hydrique pendant les années ou les mois de sécheresse. Les besoins en eau augmenteront considérablement dans la région en raison de l'irrigation (de 18 à 60%, selon le scénario envisagé). Parallèlement, le volume d'eau diminuera à la suite de la fonte du glacier (à partir de 2050). On prévoit surtout deux périodes au cours desquelles le stress hydrique devrait augmenter régulièrement: en hiver (de janvier à mars) et en été (d'août à septembre). Dans le deuxième cas, il s'agit d'une nouvelle tendance.

Dans tous les scénarios, le développement socio-économique et le système d'utilisation de l'eau ont de plus fortes répercussions que le changement climatique sur le bilan hydrologique, du moins jusqu'en 2050. Ensuite, la situation change. A l'avenir, le stress hydrique pourrait être amorti par une utilisation multifonctionnelle du lac de Tzeusier.

III. 43: ressources en eau disponibles pour les utilisations (en bleu) et bilan (différence entre les ressources en eau disponibles et la consommation d'eau, en rouge) pour une année moyenne et une année sèche vers 2050, selon le scénario 4. MONTANAQUA



Ce qui a surpris les chercheurs

Le projet MONTANAQUA était parti du principe que l'enneigement des pistes (en hiver) et l'irrigation des terrains de golf (en été) consommaient énormément d'eau. Cependant, le projet a montré que cette consommation d'eau était négligeable. En hiver, Montana est dix fois plus peuplé qu'en été. Néanmoins, la majeure partie de l'eau n'est pas utilisée en hiver, mais en été, en particulier pour l'irrigation des jardins et l'agriculture.

Le bassin versant du lac de Tzeusier renferme un grand potentiel hydrique. Il représente la solution pour un approvisionnement en eau plus sûr de la région de Montana, y compris après 2050. Avec l'expiration de la concession actuelle (en 2048), des possibilités d'innovations intéressantes pourront être envisagées.

Cinq messages-clés

- ▶ Le développement socio-économique est le moteur principal. En 2050, il influencera le système plus encore que le changement climatique.
- ▶ Il y a suffisamment d'eau aujourd'hui et à l'horizon 2050. Cependant, des difficultés locales et saisonnières ne sont pas à exclure.
- ▶ En fin de compte, c'est la mode de gestion des eaux qui déterminera s'il y en a en suffisance. La gestion des eaux locale doit être complétée par une plateforme régionale.
- ▶ Une planification intercommunale de l'infrastructure hydraulique peut permettre d'assurer la durabilité de l'eau. En parallèle, des réformes sont toutefois nécessaires dans la gouvernance de l'eau.
- ▶ Une gestion durable de l'eau au niveau régional nécessite une meilleure gestion des données et une plus grande transparence.

«Voir qu'il était possible d'obtenir une estimation commune de la durabilité au sein de la région a été un moment spécial pour nous. Les participants ont pu définir ensemble la durabilité, la rendre opérationnelle et, à partir de là, générer des données.»

Franziska Schmid, RisikoWissen Berne, auteure de la Synthèse thématique ST 4.

«L'autonomie des communes reste, encore aujourd'hui, un aspect très important. Ces dernières devraient cependant se concentrer davantage sur l'intérêt général à l'avenir.»

Rolf Weingartner, MONTANAQUA, Université de Berne.

Visionner le DVD pour en savoir plus.

Les connaissances de la transformation, un critère décisif

Les problèmes supposés et les menaces «pressenties» dans la région n'ont rien à voir avec les menaces réelles mesurées par les chercheurs. Cette situation a généré des tensions auxquelles s'est heurté ce projet de GIE.

Estimations et réalité

Le projet MONTANAQUA a diffusé ses cinq messages-clés dans les médias régionaux et nationaux. Dans la majorité des cas cependant, les acteurs régionaux n'ont prêté attention qu'à un seul de ces messages: il y a suffisamment d'eau! Mais celui-ci n'est valable qu'en complément des messages 3 et 4. Il n'est vrai que si l'on considère la moyenne annuelle. Entre les différentes années ou pendant certaines saisons, l'on peut tout à fait assister à une pénurie d'eau. Par ailleurs, nombreux sont ceux qui considèrent 2050 comme se situant dans un avenir lointain. En réalité, cet avenir est déjà proche si l'on considère que la planification et la mise en œuvre de mesures prennent beaucoup de temps.

Il convient de s'interroger sur la manière de renforcer le transfert des connaissances et l'apprentissage des acteurs. Les ateliers de création de scénarios ou d'évaluation de la durabilité ont notamment eu une influence positive sur les processus d'apprentissage. Ils ont permis de réfléchir à des mesures et d'en discuter. Mais les chercheurs ont eu l'impression que, pour les groupes d'acteurs, les traditions jouaient souvent un rôle plus important que les considérations économiques.

Evaluation de la durabilité

L'évaluation de la durabilité de la situation concernant la gestion de l'eau – une importance égale étant accordée aux connaissances relevant des sciences naturelles et à celles relevant des sciences sociales – a représenté une étape méthodologique importante en vue de renforcer le consensus entre les acteurs. Le projet

MONTANAQUA a élaboré un instrument dans ce cadre: une roue de la durabilité. Celle-ci montre l'évaluation des scénarios par les acteurs. Les évaluations positives apparaissent en vert et les évaluations négatives en rouge. Les résultats ont fait l'objet de discussions avec les acteurs et ont déclenché des prises de décisions. Ces évaluations ont constitué un outil de communication précieux entre les chercheurs et les personnes de la région.

Voici les résultats les plus importants de ces ateliers:

- ▶ le système actuel de gestion des eaux ne permet pas aux acteurs de faire évoluer la région dans la direction souhaitée;
- ▶ la transparence et l'équité dans la répartition de l'eau constituent un problème qu'il convient de prendre en compte;
- ▶ le scénario 1 (croissance) réduit la durabilité de l'eau;
- ▶ les scénarios 2, 3 et 4 contribuent à renforcer la durabilité de l'eau.

Des enseignements pour l'avenir

L'expérience en matière de GIE montre que, dans cette région, les problèmes liés à l'eau sont moins dus aux ressources qu'à la gouvernance et la gestion. De nouveaux défis apparaissent en matière de collaboration entre les communes et les acteurs du domaine. La région a besoin d'une orientation qui tienne compte de l'intérêt général de l'ensemble des habitants et intègre une renégociation des principes et des droits d'accès à l'eau. Les projets de construction communs peuvent contribuer à assurer la durabilité de l'approvisionnement en eau, mais uniquement s'ils sont accompagnés de réformes de la gouvernance de l'eau.

Les approvisionnements en eau doivent commencer à passer d'une gestion des ressources disponibles – «on prend ce que l'on a» – à une gestion de l'approvisionnement – «on règle l'approvisionnement en eau, en particulier dans les situations d'urgence». Une question importante mérite en outre d'être posée: est-il possible d'utiliser le lac de Tseuzier comme réservoir?



voir d'eau multifonctionnel et, le cas échéant, comment? Ce faisant, le mode de répartition et les infrastructures sont des critères importants. Il s'agit, en définitive, de décisions politiques. Dans ce contexte, les chercheurs ont eu la surprise de constater que les droits d'utilisation de l'eau étaient dans cette région encore largement négociés de manière informelle et qu'il en allait de même pour la résolution des conflits liés à l'utilisation de l'eau.

Le projet prouve qu'une approche interdisciplinaire est nécessaire. Une observation basée uniquement sur les sciences naturelles – «quel est le volume d'eau disponible?» – est par trop limitative. En outre, ce type de projets étant complexes et coûteux, il n'a pas été possible, en raison de restrictions budgétaires, de couvrir certains thèmes importants, comme l'analyse de la situation légale.

A gauche: une roue de la durabilité comme méthode d'évaluation des scénarios. MONTANAQUA

Au milieu: le projet s'est largement engagé afin de discuter de ses résultats avec les acteurs de la région. MONTANAQUA

A droite: la collaboration est primordiale. Il faut une conscience régionale pour résoudre les problèmes. MONTANAQUA

Conclusions du PNR 61

Le programme de recherche s'est risqué à porter un regard sur l'avenir (2050, 2100), ce qui a permis de tirer des conclusions et d'émettre des recommandations en vue de garantir la durabilité de la gestion de l'eau en Suisse. Les recommandations s'adressent aux acteurs de la Confédération, des cantons et des communes, mais aussi aux associations et à l'encouragement de la recherche.

Pour les spécialistes en hydrologie

Les cantons alpins, dont certains territoires se situent à haute altitude, doivent agir, car le changement climatique occasionne d'importantes modifications, en haute montagne notamment.

Pour la première fois, le PNR 61 a élaboré des bases portant sur les modifications du paysage de haute montagne dues au changement climatique. Si les nouveaux lacs présentent un intérêt pour les secteurs du tourisme et de l'énergie, ils renferment toutefois également un potentiel de risques considérable. Il faudra beaucoup de temps pour réaliser les travaux d'aménagement du territoire et mettre en œuvre les mesures en matière d'organisation et de construction nécessaires à l'adaptation à la nouvelle situation. Un suivi des modifications et des évaluations du potentiel de risques et de profits au cas par cas s'imposent. Une meilleure compréhension des processus naturels est indispensable.

Dans le cadre de l'octroi de concessions d'utilisation de l'eau, il faut de plus en plus tenir compte des questions liées à la protection à long terme de la durabilité dans le domaine de l'eau.

Dans les régions menacées par les pénuries d'eau ou les crues, l'utilisation multifonctionnelle des lacs de barrage peut représenter une solution, selon les circonstances. De nouveaux phé-

nomènes tels que les lacs glaciaires renferment un potentiel économique, y compris pour l'utilisation de l'énergie hydraulique. Dans le cadre des négociations de contrats de concessions, il convient de clarifier et de régler ces questions tout en tenant compte des différents intérêts.

Les régions du Jura, du Plateau et des Pré-alpes menacées par la sécheresse estivale et l'étiage ont besoin d'éléments de base solides et de courage pour prendre les mesures économiques et d'aménagement du territoire qui s'imposent.

Dans ces régions, le développement socio-économique est souvent plus important pour le régime des eaux que le changement climatique. Pour réduire les répercussions sur le régime des eaux, il faut un aménagement du territoire adéquat, des adaptations de l'utilisation du sol ou des mesures d'incitation économiques. Selon la situation, il pourra être nécessaire d'adopter une autre combinaison de mesures. A cet égard, le PNR 61 met à disposition des approches, des méthodes et des instruments.

Le réchauffement des eaux ainsi que la sécheresse estivale et l'étiage peuvent poser problème, en particulier pour la protection des eaux. L'évaluation des risques et la planification de mesures requièrent des analyses au cas par cas.

A cet égard, le PNR 61 fournit des éléments de base et des méthodes. Le réchauffement de l'eau lié au changement climatique peut devenir un facteur de stress, en particulier dans les régions soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation. En revanche, les dommages subis par les captages d'eau potable alimentés par infiltration d'eau fluviale devraient rester exceptionnels.

Dans les régions où l'agriculture intensive est pratiquée et où l'eau se fait rare en été, l'agriculture doit se préparer progressive-

Les investissements consentis pour mettre en œuvre des mesures préventives sont nettement inférieurs à ceux qui devront être réalisés ultérieurement pour réparer les dommages.

ment aux conséquences du changement climatique.

Ce thème doit faire l'objet d'observations à long terme. Les mesures sont à planifiées avec les agriculteurs. Les modifications en termes d'exploitation du sol ou d'assolement peuvent être mises en œuvre rapidement. Les investissements dans l'infrastructure d'irrigation doivent être associés, dans la mesure du possible, à des mesures réglementaires, à des améliorations techniques et à la formation des agriculteurs. Si ces mesures ne sont pas suffisantes, il convient de mener des discussions autour des modifications à apporter dans l'organisation de l'utilisation du sol.

Les planificateurs doivent adopter une approche innovante en ce qui concerne les scénarios de développements possibles. Cette approche doit être élaborée en collaboration avec les acteurs de terrain et les chercheurs.

Les infrastructures liées à l'utilisation de l'eau sont coûteuses et ont une grande longévité, notamment dans le domaine de la gestion des eaux urbaines. Le PNR 61 fournit de nouvelles approches et de nouveaux outils méthodologiques dans ce cadre. Ceux-ci peuvent contribuer à améliorer la planification d'infrastructures hydrauliques durables, en particulier dans les régions soumises à la pression de l'urbanisation et des besoins d'utilisation.

Pour les acteurs du domaine politique

Notre avenir repose sur une gestion intégrée des eaux (GIE). A cet effet, la Suisse n'a nul besoin de créer de nouvelles institutions. Une légère réforme suffit.

Du fait de la structure fédérale du pays, il n'est pas réaliste d'appliquer une GIE uniforme à tous les bassins versants de la Suisse. La résolution des nombreux problèmes liés à l'eau passe par des observations globales à l'échelle régionale, par exemple pour l'assainissement des cours d'eau, la planification d'infrastructures hydrauliques, la protection contre les crues, la renaturation des

cours d'eau ou le traitement des pénuries d'eau. Les projets du PNR 61 donnent des impulsions méthodologiques en ce sens.

La Confédération doit renforcer sa politique de l'eau. A cet effet, il lui faut une stratégie nationale de l'eau.

Cette stratégie permet de relier les stratégies partielles existantes et de les compléter. Il en découle des impulsions positives pour la collaboration entre les acteurs, même issus de domaines politiques différents. Cela permet de définir le cadre requis pour l'harmonisation de la législation sur l'eau et la promotion de la GIE.

Les cantons ont besoin de stratégies cantonales de gestion de l'eau ou de lois intégrales sur les eaux. Celles-ci doivent définir le cadre de la gestion durable de l'eau et encourager les approches globales.

Il est ici question autant de prescriptions officielles que de processus d'apprentissage et de négociation intégrant des acteurs régionaux et supra-régionaux. Les instruments relevant de l'économie de marché peuvent être davantage utilisés. Les cantons de Berne et de Fribourg possèdent de solides expériences en la matière.

La Confédération et les cantons doivent exploiter leur marge de manœuvre et procéder à une mise en œuvre rapide d'améliorations visant à renforcer la durabilité dans le domaine de l'eau.

On peut noter, à titre d'exemple, l'introduction d'un devoir de planification intégrale dépassant les frontières du canton dans les bassins versants, si la situation l'exige. La Confédération peut également décider plus largement de subordonner les contributions financières à une condition: l'existence de planifications intégrales et d'institutions responsables au niveau du bassin versant. Mais la formation, l'échange de connaissances, les instructions pratiques et les projets pilotes peuvent également permettre d'atteindre de bons résultats dans un Etat fédéral.

La GIE a besoin d'un programme d'impulsion. Les cantons sont tenus de procéder à une étude préliminaire généralisée là où des projets de GIE s'imposent et de présenter un rapport à la Confédération.

Une fois l'étude préliminaire achevée, la mise en œuvre de la GIE relève de la responsabilité des cantons. A cet égard, la Confédération doit leur apporter son soutien et les accompagner. Il est judicieux d'attribuer des fonds aux projets pilotes qui abordent des thèmes décisifs pour l'avenir. L'évaluation des résultats doit être dévolue à la Confédération. Il est important que les projets de GIE soient soutenus par la recherche.

De plus en plus, les mesures d'incitation et instruments étatiques doivent coïncider avec les objectifs de gestion durable de l'eau ou être utilisés à cet effet.

Il s'agit de prévention à long terme. Le subventionnement d'installations d'irrigation doit être limité aux meilleures techniques existantes. A l'instar des réglementations relatives au phosphore et aux nitrates, les contingents d'eau peuvent être définis dans le cadre des prestations écologiques requises.

Sur les sites où les canaux d'irrigation traditionnels sont garants de la diversité écologique et paysagère, les contrats d'exploitation et les paiements de compensation peuvent promouvoir la protection de ces valeurs.

L'indemnisation des prestations supplémentaires doit être réalisée dans le cadre de la nouvelle politique agricole. Les contrats et paiements doivent être associés à un contrat-cadre englobant le périmètre d'irrigation dans son intégralité.

Les projets de GIE doivent s'appuyer sur des données fiables concernant l'hydrologie, les utilisations de l'eau et les droits d'utilisation. Il convient de combler les lacunes en la matière et d'assurer la poursuite des travaux.

Les travaux réalisés dans le cadre du PNR 61 ont montré que les données requises pour la GIE n'étaient pas toutes disponibles de façon stan-

dard. Un inventaire devrait permettre de recenser les lacunes et les priorités à définir pour les combler. D'un point de vue hydrologique, outre le niveau de l'eau et le débit, les données relatives à la température, au déversement, à la conductivité et aux composants chimiques présentent également un intérêt.

Pour la recherche future

Une meilleure compréhension du processus hydrologique est requise. Pour cela, des observations à long terme s'imposent.

Le cadre d'observation temporel du PNR 61 était trop court pour permettre une compréhension complète des processus à prévoir à l'avenir dans le cadre de la durabilité de la gestion de l'eau, d'autant qu'il n'y a pas eu d'événements extrêmes entre 2010 et 2013, hormis la période de sécheresse de 2011. Il est nécessaire de procéder à des observations à long terme (plus de 20 ans) dans des bassins versants expérimentaux permettant d'illustrer les différents thèmes importants pour l'avenir. Grâce au PNR 61, ces thèmes sont désormais connus.

La recherche d'accompagnement hydrologique et écologique permet d'optimiser les programmes et projets relatifs à la protection des eaux et à la protection contre les crues.

Dans le cadre des adaptations à la loi fédérale sur la protection des eaux, la Suisse développera ses stations d'épuration des eaux et procèdera à la renaturation de tronçons de cours d'eau au cours des prochaines décennies. La recherche portant sur la réaction des eaux à ces mesures et à d'autres mesures permet d'optimiser les projets et programmes et de recenser les nouveaux défis à relever en matière de gestion durable de l'eau.

Dans le cadre de la transition énergétique décidée par le Conseil fédéral en 2011, des thèmes peu abordés par le PNR 61 sont à nouveau mis en lumière. La poursuite de la recherche est donc nécessaire.

Cela vaut en particulier pour la recherche de sources d'énergie alternatives. Citons, à titre d'exemple, le «fracking» (fracturation), le développement de la géothermie et l'exploitation de l'eau de mer et des eaux souterraines pour la production d'énergie thermique.

La recherche transdisciplinaire a besoin d'une nouvelle vision et d'une plus grande reconnaissance.

Les acteurs et les décideurs doivent accepter de coopérer et d'être intégrés aux projets. Cela requiert des talents spécifiques de la part des chercheurs, à savoir: animer des processus d'échange et réfléchir selon différents points de vue. Il convient de tenir compte de ces capacités et du surcroît de travail lié à l'organisation dans les domaines de la formation et de l'encouragement de la recherche. Il faut, en outre, des moyens permettant aux chercheurs d'élaborer des prototypes, tels que des plateformes d'information ou des modèles numériques, afin de pouvoir continuer à mettre au point des produits conviviaux, par exemple dans le cadre de la recherche de l'administration fédérale.

Les enseignements du PNR 61 sur la recherche transdisciplinaire doivent être valorisés dans les futurs programmes nationaux de recherche.

La recherche d'accompagnement a interrogé les équipes de projet du PNR 61 sur leurs expériences en matière de transdisciplinarité.

- ▶ Il faut qu'un intérêt commun préside à la réalisation d'un résultat. Le rapport avec la pratique a connu un succès particulièrement fort là où les chercheurs et acteurs de terrain ont travaillé sur un produit commun.
- ▶ Le développement de contacts solides s'établit dans le temps et la continuité.
- ▶ La recherche transdisciplinaire place les connaissances pratiques devant des exigences élevées. Il faut donc des chercheurs justifiant d'expériences adéquates.

- ▶ Les chercheurs doivent être disposés à recevoir des questions et des réactions de la part des acteurs de terrain, et à adapter leurs concepts et leurs produits en conséquence. Les échéances définies pour la remise des travaux scientifiques peuvent être un handicap.
- ▶ La transdisciplinarité était une priorité pour le comité de direction du PNR 61. Il en a résulté un engouement bien réel pour les produits et résultats axés sur la pratique.

Annexe

Qu'est-ce que le PNR 61?

Les programmes nationaux de recherche (PNR) ont pour vocation de fournir des éléments scientifiquement établis en vue de résoudre des problèmes urgents revêtant une importance nationale. Ils sont élaborés à la demande du Conseil fédéral et mis en œuvre par le Fonds national suisse. Les PNR font partie de la division IV intitulée «Programmes» (www.snf.ch).

Le PNR 61 «Gestion durable de l'eau» propose des bases scientifiques, notamment des outils, des méthodes et des stratégies visant à répondre aux défis futurs de l'économie des eaux. Il a bénéficié d'une enveloppe financière de 12 millions de francs et la recherche a duré de 2010 à 2013. Que ce soit dans les objectifs, dans l'évaluation ou l'exécution du projet, l'accent a été largement mis sur la pratique et l'intégration des différents acteurs. Après une procédure de dépôt des requêtes en deux étapes assortie d'une expertise internationale, 16 projets ont finalement été approuvés (www.pnr61.ch).

Les 16 projets de recherche du PNR 61

Les projets de recherche ont analysé les effets des modifications probables du climat, de la société et de l'économie sur le régime des eaux, les valeurs hydrologiques extrêmes, la qualité de l'eau et l'hydrobiologie ainsi que les questions sur l'utilisation de l'eau y afférentes.

AGWAM: Pénurie d'eau, pour l'agriculture suisse également

P^r D^r Jürg Fuhrer

La hausse des températures, conjuguée à une baisse des précipitations en été, aura pour conséquence de rendre l'agriculture plus dépendante encore de l'irrigation, alors même que les réserves en eau diminuent. Sur la base de différents scénarios concernant le climat, les prix et la politique, des modélisations ont permis de mettre en lumière la marge de manœuvre dont dispose l'agriculture. Le projet formule des recommandations et des mesures adaptatives pour éviter les conflits et minimiser les répercussions sur l'environnement.

DROUGHT-CH: Sommes-nous préparés aux périodes de sécheresse?

P^r D^r Sonia Seneviratne

A l'avenir, il faudra s'attendre à des périodes de sécheresse et à des vagues de chaleur plus fréquentes. Le projet s'est penché sur les risques liés aux périodes de sécheresse en Suisse et sur les possibilités de les anticiper. Un prototype de plateforme d'information «Sécheresse» a été élaborée, celle-ci constituera une base pour les mesures adaptatives.

FUGE: Recul des glaciers – restera-t-il suffisamment d'eau pour la production d'énergie hydraulique?

P^r D^r Martin Funk

Des méthodes plus perfectionnées ont permis d'étudier et de modéliser la fonte de 50 glaciers

suisse. Les prévisions de débit jusqu'en 2100 sont notamment importantes pour les centrales électriques. Des mesures adaptatives pour l'exploitation des centrales hydroélectriques ont été développées en collaboration avec les entreprises du secteur.

GW-TEMP: Comprendre les effets du changement climatique sur les eaux souterraines

D^r David M. Livingstone

L'augmentation de la température de l'eau peut compromettre la qualité des eaux souterraines. Des données historiques ont été analysées afin d'évaluer les répercussions de cette augmentation sur la qualité des eaux souterraines. Nous nous sommes basés sur des modèles statistiques pour les prévisions relatives aux températures des eaux souterraines.

GW-TREND: Pénurie d'eau souterraine due au changement climatique?

P^r D^r Daniel Hunkeler

L'accroissement des périodes de sécheresse peut réduire le volume des eaux souterraines. Les résultats permettent d'identifier les nappes aquifères qui sont particulièrement sensibles au changement climatique, de planifier des mesures et de mettre en place des programmes de surveillance.

HYDROSERV: Ressources hydrologiques durablement garanties

P^r D^r Adrienne Grêt-Regamey

Les services écosystémiques hydrologiques comme l'approvisionnement en eau potable, la régulation des crues, les loisirs et l'utilisation de la force hydraulique peuvent être mis à mal sous l'effet du changement climatique. Des mesures de nature politique ont pu être formulées grâce à une meilleure compréhension des services écosystémiques hydrologiques.

IWAGO: Vers une politique intégrative de l'eau

P^r D^r Bernhard Truffer

Des exemples issus de différents cantons et régions montrent les processus et les structures de régulation susceptibles d'encourager une approche de gestion de l'eau, plus globale et impliquant davantage les différents partenaires, dans le domaine de l'économie des eaux en Suisse afin de dégager des potentiels de synergie entre les différents secteurs. Sur la base des potentiels de synergie identifiés en collaboration avec les parties prenantes concernées, des stratégies ont été développées en vue du développement futur de la gestion de l'eau en Suisse.

IWAQA: Gestion intégrée de la qualité de l'eau de rivière

D^r Christian Stamm

Les changements sociaux et économiques mais aussi les modifications du climat ont un impact sur la qualité de l'eau de nos rivières. Le projet élabore des aides à la décision qui permettent d'évaluer et de réduire les effets négatifs sur l'écologie des cours d'eau.

MONTANAQUA: Gestion de l'eau en temps de pénurie et de changement global

P^r D^r Rolf Weingartner

La modification de l'offre et de la consommation d'eau liée au changement climatique et aux développements socio-économiques générera plus de conflits dans la distribution d'eau, notamment dans les régions arides. A la lumière de l'exemple de la région de Crans-Montana-Sierre en Valais, le projet montre comment il sera possible, en collaboration avec les responsables locaux et les personnes intéressées, d'élaborer des solutions garantissant une gestion et une distribution de l'eau optimales et équilibrées.

NELAK: Des lacs comme conséquence de la fonte des glaciers: chances et risques

P^r D^r Wilfried Haerberli

La fonte des glaciers peut provoquer la formation de nouveaux lacs. Afin d'évaluer les chances et les risques liés à ces nouveaux lacs, les aspects pertinents liés aux risques naturels, à la force hydraulique, au tourisme et à la législation ont été examinés et discutés avec les personnes intéressées.

RIBACLIM: L'eau potable provenant des rivières est-elle encore suffisamment propre?

P^r D^r Urs von Gunten

Un tiers de l'eau potable provient des cours d'eau, qui s'infiltrent par les rives dans les eaux souterraines. Les processus appliqués dans les zones riveraines sont d'une importance de premier plan pour la propreté de l'eau. Le projet examine les incidences du changement climatique sur ces processus d'infiltration et sur la qualité des eaux souterraines au moyen d'expériences en laboratoire et sur le terrain.

SACFLOOD: Comment évolue le danger lié aux crues dans les Alpes?

D^r Felix Naef

A l'avenir, du fait de l'augmentation des précipitations, les crues devraient être plus fréquentes et intenses. Afin de pouvoir mieux évaluer les risques d'inondation et d'adopter des mesures ciblées, le projet s'est penché sur les rapports entre précipitations, capacité de stockage du sol et conditions d'écoulement.

SEDRIVER: Augmentation des crues, augmentation des transports de sédiments: moins de poissons?

D^r Dieter Rickenmann

Le changement climatique modifie le transport de sédiments dans les torrents. Les chercheurs ont développé un modèle qui simule le transport des sédiments par charriage dans les cours d'eau

de montage. Le projet a aussi examiné les effets des sédiments transportés par les cours d'eau sur le développement des populations de truites de rivière.

SWIP: Planification à long terme d'infrastructures durables de distribution et de traitement de l'eau

D^r Judit Lienert et P^r D^r Max Maurer

La planification de l'approvisionnement en eau et de l'évacuation des eaux fait intervenir des aspects économiques, écologiques et sociaux. SWIP a élaboré, conjointement avec les parties prenantes concernées, des aides à la décision en vue de planifier à long terme des infrastructures selon différents scénarios d'avenir.

SWISSKARST: Les eaux karstiques, une ressource hydrique pour le futur?

D^r Pierre-Yves Jeannin

En Suisse, 18% de l'eau potable provient des aquifères karstiques. Ceux-ci ont été caractérisés sur un tiers du territoire à l'aide de la méthode «KARSYS», développée dans le cadre du projet. Les autorités et les utilisateurs d'eau utilisent cette méthode lorsqu'il s'agit de l'utilisation et de la gestion des eaux karstiques.

WATERCHANNELS: Canaux d'irrigation pour la biodiversité et le tourisme

D^r Raimund Rodewald

Les canaux irriguent les prés dans les vallées arides des Alpes depuis déjà de nombreux siècles. Le projet a examiné les avantages des canaux d'irrigation pour la biodiversité et le système d'utilisation. Il faudra compter à l'avenir avec des périodes de sécheresse plus nombreuses et une concurrence accrue dans le secteur de l'eau. Le projet aide à mieux comprendre les questions de distribution d'eau en relation avec l'utilisation des canaux d'irrigation.

Produits du PNR 61

Cinq synthèses ont été élaborées: quatre synthèses thématiques et une synthèse globale. Les premières s'adressent aux experts de la Confédération, des cantons, des communes, des associations, des ONG et des bureaux d'études privés. Elles rassemblent les enseignements scientifiques découlant des différents projets du PNR 61 et d'autres études sur des problématiques centrales du PNR 61, établissent des liens entre les résultats pratiques des différents projets et tirent des conclusions concrètes en vue de mettre en place une gestion durable des ressources en eau.

Synthèse thématique 1

Ressources en eau de la Suisse: ressources disponibles et utilisation – aujourd'hui et demain
Astrid Björnsen Gurung et Manfred Stähli

Synthèse thématique 2

La gestion des ressources en eau face à la pression accrue de leur utilisation
Klaus Lanz, Eric Rahn, Rosi Siber, Christian Stamm

Synthèse thématique 3

Approvisionnement en eau et assainissement des eaux usées durables en Suisse: défis et mesures possibles
Sabine Hoffmann, Daniel Hunkeler, Max Maurer

Synthèse thématique 4

Gouvernance durable de l'eau: enjeux et voies pour l'avenir
Franziska Schmid, Felix Walter, Flurina Schneider, Stephan Rist

Dans le cadre de la présente synthèse globale, le comité de direction s'adresse aux experts susmentionnés, aux médias, aux acteurs de la politique ainsi qu'à toutes les personnes intéressées. La synthèse globale se base aussi bien sur les 16 projets du PNR 61 que sur les quatre synthèses thématiques. Elle résume les principaux résultats du PNR 61 de manière accessible à tous.

Synthèse globale

Gestion durable de l'eau en Suisse –
le PNR 61 montre les voies à suivre pour l'avenir
Comité de direction du PNR 61

Projets de publications

D'ici à l'été 2014 sont parues au moins 160 publications scientifiques, des thèses, une série d'entretiens et d'articles dans la revue «Aqua & Gas», des rapports spécialisés dans la revue «Eau, énergie, air», de nombreux rapports et d'autres publications en relation avec les 16 projets (<http://p3.snf.ch/>).

Vidéos

Les vidéos permettent d'établir des liens entre les disciplines et entre la science et la société (cf. www.pnr61.ch, DVD dans la synthèse globale). Au début du programme, 16 clips vidéo ont été produits afin de donner un «aperçu» de chacun des projets de recherche. Les chercheurs expliquent ce qu'ils étudient et comment, mais aussi en quoi cette recherche est importante pour notre société.

10 clips vidéo «perspectives» ont ensuite été tournés à l'issue du programme afin de récapituler les thèmes tels que la fonte des glaciers, les ressources en eau de l'avenir, l'augmentation de la sécheresse, l'urbanisation croissante et la gestion de l'eau. Les chercheurs rapportent les connaissances surprenantes qu'ils ont acquises, la manière dont ils ont travaillé avec des acteurs de terrain et les outils de mise en œuvre qui existent à présent. Les acteurs de terrain expliquent comment ils évaluent les résultats de la recherche et ce qu'ils souhaitent désormais mettre en œuvre dans leur secteur.



Module d'exposition

Des clips vidéo de courte durée montrent les principaux enseignements tirés du PNR 61. Un module exposé dans les salons, les musées et les bâtiments officiels transmet les principaux messages de manière interactive (annonce auprès du FNS: nfp@snf.ch).



Recherche d'accompagnement

Les projets du PNR 61 ont été menés selon une approche interdisciplinaire et au moyen de méthodes transdisciplinaires. De nombreuses activités de mise en œuvre ont été engagées dans le cadre du programme et du projet. Le processus de synthèse a commencé dès les travaux de recherche. Deux projets de recherche d'accompagnement ont étudié les méthodes à utiliser et les chances de succès liées à chacune d'entre elles.

Potentiels et limites de la production de savoir transdisciplinaire au sein des projets de recherche du PNR 61

Tobias Buser, Flurina Schneider, Stephan Rist
La recherche d'accompagnement de l'Université de Berne a examiné les aspects transdisciplinaires des 16 projets.

Méthodes d'intégration interdisciplinaires et transdisciplinaires du savoir dans le processus de synthèse du PNR 61

Sabine Hoffmann, Christian Pohl, Janet Hering
La recherche d'accompagnement d'Eawag/td-net a examiné les méthodes de l'intégration des savoirs au sein des quatre synthèses thématiques.

Informations complémentaires: www.pnr61.ch



Crédits vidéos PNR 61

Direction du projet, concept et production: Dr Patricia Fry, chargée d'échange de connaissances PNR 61, Wissensmanagement Umwelt GmbH

Réalisation vidéo: Halbbild Halbton, productions audiovisuelles; concept vidéo, caméra, montage, son: Renata Grünenfelder; musique, son: Hipp Mathis

Sous-titrage (spotting et coordination): Corinne Ammann, FNS

Traduction française: Nathalie Cottet, Simon Breitenmoser, Franck Manara

Traduction anglaise: Corinne Ammann, Omar Solanki

Insertions graphiques: Sophia Murer, peakfein

Correction des couleurs: Paul Avondet, peakfein

Layout label: Esther Schreier, electronic publishing

DVD master et copies: ATL Videofactory

Commandes: nfp@snf.ch

Financement et copyright: Fonds national suisse

Un grand merci à toutes et tous les spécialistes qui se sont exprimés dans cette vidéo.

Merci également aux personnes et institutions suivantes pour la mise à disposition de matériel photographique:

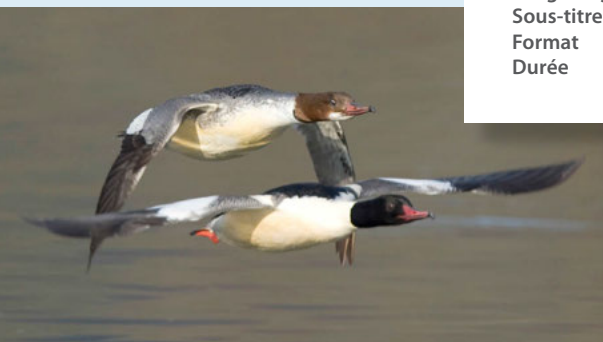
Adriano Ross, Andrea Ryffel, Andreas Bauder, Andreas Scholtis, Armin Peter, Daniel Hunkeler, Darja Aepli, DDPS, Eawag, Emmanuel Rey, Ernst Meili, Essence Design, Felix Luder, Felix Naef, Florian Widmer, Gilbert Jöhr, Hansruedi Burgener, Jan Béguin, Jürg Fuhrer, Kanton Aargau, Amt für Verbraucherschutz, Katrin Simonett, Lisa Rigendinger, Marco Cortesi, Matthias Künzler, Max Maurer, Michael Bütler, Michael Gerber, Nico Moelg, OFEV, Patricia Fry, Res Chervet, Reto Oeschger, Robert Stocker, Sabine Rock, Walter Baumann, Wilfried Haerberli, Wolfgang Sturny, WSL.

Lange originale suisse-allemand ou français

Sous-titres français

Format 16:9

Durée 180 minutes





Le Programme national de recherche «Gestion durable de l'eau» (PNR 61) a réuni 16 équipes de projet, qui, adoptant une approche interdisciplinaire et transdisciplinaire, ont tenté de donner une vision globale de l'avenir de l'eau en Suisse au XXI^e siècle. En collaboration avec les acteurs de terrain, des chercheurs issus de différentes disciplines scientifiques ont élaboré des bases et méthodes favorisant une gestion durable des ressources en eau et introduit des premiers processus de mise en œuvre. Les conditions générales de l'économie des eaux se modifieront du fait du développement socio-économique et du changement

climatique. En 2050, la fonte de nombreux glaciers aura eu d'innombrables répercussions. La pression sur les ressources en eau et les conflits d'utilisation augmenteront.

Les présents ouvrage et DVD résument les résultats de ces projets de recherche. Ils montrent les voies à suivre pour renforcer la durabilité de la gestion de l'eau. Ainsi, la Confédération peut raffermir sa politique de l'eau à travers une stratégie nationale en la matière. Au demeurant, il est nécessaire d'adopter un point de vue global et de garantir une coopération au niveau régional. A cet égard, le rôle des cantons est primordial.

Cet ouvrage est disponible en français et en allemand.
Dieses Buch ist auf Französisch und Deutsch erhältlich.

 DVD ci-inclus

v/df

ISBN 978-3-7281-3613-8 (édition imprimée), ISBN 978-3-7281-3614-5 (E-Book)
www.vdf.ethz.ch | verlag@vdf.ethz.ch